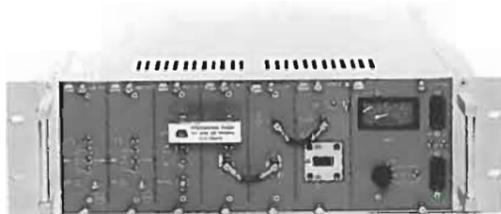
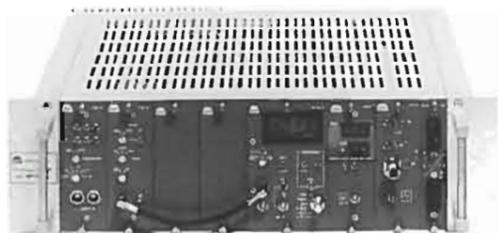
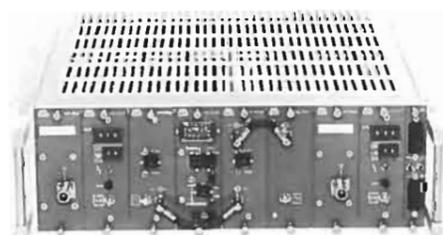
Spedizione in abbonamento postale gruppo IV/70, n. 3 - 1° sem. 1994

ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

ANNO XLII NUMERO 3 - 1993 EDIZIONI NUOVA ERI - Via Arsenale, 41 - TORINO L. 8000

Museo della Radio e della Televisione RAI - Torino

NUMERO 3 — ANNO XLII

DICEMBRE 1993

DA PAGINA 89
A PAGINA 120

ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Sommario: *pagina*

RIVISTA QUADRIMESTRALE
A CURA DELLA RAI
EDITA DALLA NUOVA ERI

DIRETTORE RESPONSABILE
GIANFRANCO BARBIERI

COMITATO DIRETTIVO
M. AGRESTI, F. ANGELI,
G. M. POLACCO, R. CAPRA

REDAZIONE
RENATO CAPRA
CENTRO RICERCHE RAI
CORSO GIAMBONE, 68
TEL. (011) 88 00 (int. 31 32)
10135 TORINO

Concessionaria esclusiva della pubblicità:
SOC. PER LA PUBBLICITÀ IN ITALIA (SPI)
VIALE MILANOFIORI STRADA TERZA, PALAZZO B 8
20094 ASSAGO - MILANO - TEL. (02) 575471

Distribuzione per l'Italia:
Parrini & C. - p. Indipendenza 11/B
00185 Roma - Tel. (06) 49.92

Affiliato alla Federazione Italiana Editori Giornali

Stampa: ILTE - Moncalieri (Torino)

La fotografia illustra una delle vetrine del Museo della Radio e della Televisione - Sala «Enrico Marchesi» - Rai Radiotelevisione Italiana, Sede di Torino. Sia il Museo che il Centro Ricerche RAI hanno confermato, anche per il prossimo anno, la loro adesione alla IV Settimana della Cultura Scientifica, promossa dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (18-24 aprile 1994). Sarà quindi possibile, su richiesta, visitare queste due realtà della RAI torinese.

UNA COPIA L. 8000 (ESTERO L. 15000)
COPIA ARRETRATA L. 15000 (ESTERO L. 15000)
ABBONAMENTO ANNUALE L. 20000 (ESTERO L. 40000)
VERSAMENTI ALLA NUOVA ERI - VIA ARSENALE, 41 - TORINO-C.C.P. N. 26960104
SPEDIZIONE IN ABBONAMENTO POSTALE - GRUPPO IV/70
REG. ALLA CANCELLERIA DEL TRIBUNALE C.P. DI TORINO AL N. 494 IN DATA 6-11-1951

EDITORIALE

«Elettronica e Telecomunicazioni» offre ai propri lettori, in questo numero di dicembre, un Supplemento il cui contenuto riveste particolare importanza storica e culturale: la ristampa della monografia dell'ing. Vallauri sul Centro Radiotelegrafico di Coltano.

Come sottolineato da G.R. Scribani, che ne ha curato la presentazione, il documento testimonia l'impegno pionieristico e la vivacità intellettuale con cui si è proceduto lungo le strade dell'innovazione tecnologica e che hanno caratterizzato il percorso delle telecomunicazioni. La «radio» e tutto ciò che da essa è conseguito, ha infatti contribuito in misura eccezionale a modificare i caratteri della crescita economica e dello sviluppo sociale.

Ecco dunque la realizzazione del «continuum» fra epoca «eroica» dell'invenzione, che ai suoi esordi procede necessariamente a salti straordinari per l'intuizione di singoli, e l'innovazione tecnologica attuale che si propone, grazie al sempre più proficuo lavoro di gruppo, come ammodernamento, adozione e diffusione delle nuove tecnologie, in attesa di un nuovo, straordinario, ulteriore salto.

Ci pare così sintesi felice la lettura comparata della testimonianza storica dell'ing. Vallauri e dell'articolo *Il DAB (Digital Audio Broadcasting): nuove soluzioni tecniche per la radiodiffusione sonora*, che tratta sempre di radiofonia, ma su cui ora risulta decisivo l'effetto dei perfezionamenti acquisiti in anni di ricerca.

Altrettanto importante è la relazione esistente tuttora fra organismi quali il Politecnico e l'Università, che costituiscono le sedi più opportune per lo studio teorico e la ricerca di base, e istituzioni come il Centro Ricerche RAI che svolgono attività di ricerca e sperimentazione nel campo radiotelevisivo e comunque in settori della ricerca considerati prioritari per lo sviluppo. A questo proposito vogliamo ricordare la vivacità culturale di Torino e il suo ruolo istituzionale di riferimento che alimenta e concentra gli sforzi per realizzare un coordinamento proficuo fra le varie istituzioni di ricerca. Proprio a Torino ha sede il Museo della Radio e della Televisione ed è stato avviato il primo Telegiornale Scientifico «Leonardo», trasmesso dal lunedì al venerdì sul terzo canale nazionale della RAI.

Il Centro Ricerche RAI ed il Museo della Radio e della Televisione hanno aderito anche quest'anno all'iniziativa della «IV Settimana della Cultura Scientifica», promossa dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, dimostrando così come la tecnologia e la ricerca scientifica facciano sempre più parte della nostra cultura, influenzando le nostre scelte ed i nostri comportamenti, ma offrendoci contemporaneamente la possibilità di migliorare la qualità della vita.

«Elettronica e Telecomunicazioni» si offre quale concreto supporto e testimone di questa evoluzione, recuperando il passato per proiettarsi nel futuro.

Gianfranco Barbieri

PRESENTAZIONE

Nel 1895, nei pressi della casa paterna di Sasso e Praduro (Bologna), il giovane Guglielmo Marconi realizzava con successo il primo esperimento di trasmissione a distanza di un «Segnale di Comunicazione» mediante l'emissione di onde elettromagnetiche. Fu il punto di partenza per l'invenzione della Radio, che ha rivoluzionato il sistema di comunicazioni tra le comunità della Terra, formato la Società della Comunicazione in tempo reale e consentito la comunicazione interplanetaria.

Nel 1995 si celebrerà in Italia il Primo Centenario dell'invenzione a cura della «Fondazione Guglielmo Marconi» e sentiamo il dovere culturale di ricordare la figura e le opere dello scienziato italiano, ripercorrendo tappe salienti di questo progredire tecnologico. Per questo impegno il Museo della Radio e della Televisione RAI ha proposto a Elettronica e Telecomunicazioni la ristampa dell'inserto «Il Centro Radiotelegrafico di Coltano», relazione monografica dell'Ing. Giancarlo Vallauri che illustra le caratteristiche di progetto e funzionalità della Stazione ICC, di cui egli diresse i lavori di trasformazione e ampliamento negli anni 1920-1922, per incarico della Marina Militare Italiana.

Ricordiamo che Coltano è il primo sito storico della radiocomunicazione italiana: la località fu prescelta nel 1903 da Guglielmo Marconi, per le caratteristiche del terreno e logistiche e messa a disposizione dalla Casa Reale (apparteneva alla tenuta di San Rossore) per interessamento del Sovrano.

I lavori, con alterne vicende, si conclusero nel 1911 e la prima Stazione, dotata di generatori Marconi a scintilla fonica, svolse traffico operativo già durante il conflitto libico. Nel successivo dopoguerra, lo Stato previde di affidarne la gestione per il traffico civile ad un Concessionario e fece pertanto carico alla Marina Militare del progetto di ammodernamento e adeguamento al previsto traffico intercontinentale: è di tale periodo la trasmissione del bollettino A.R.R.T. (Agenzia Radiotelegrafica Italiana) particolarmente dedicato ai naviganti, prima diffusione di «news» dall'Italia.

L'ingegnere Giancarlo Vallauri (1882-1957), di antica famiglia piemontese, era Ufficiale di Marina dell'Accademia Navale di Livorno: della sua biografia di uomo di scienza, ricercatore, progettista e docente universitario vogliamo ricordare in particolare i suoi studi sull'emissione termoionica nel vuoto, la moltiplicazione di frequenza, l'applicazione dell'effetto piezoelettrico per la taratura degli ondametri, del condensatore elettrolitico, ecc.; progettò la prima Stazione radiotelegrafica di Roma-San Paolo nel 1917; fu Direttore dell'Istituto Superiore d'Ingegneria di Torino (successe nella cattedra di Galileo Ferraris), promosse la fondazione dell'omonimo Istituto Nazionale, Presidente dell'A.E.I. dal 1927, ecc. Nel 1934 il Consiglio d'Amministrazione dell'EIAR volle chiamarlo alla Presidenza della Società, dove proseguì l'opera dell'ing. Enrico Marchesi.

Un particolare ringraziamento all'ing. Enrico Milani, cui va il merito di averci segnalato l'opera monografica e di aver cortesemente messo a disposizione un originale d'epoca.

Giuseppe Romeo Scribani

IL DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING): NUOVE SOLUZIONI TECNICHE PER LA RADIODIFFUSIONE SONORA

G. ALBERICO, S. RIPAMONTI, B. SACCO*

SOMMARIO — La radiodiffusione MF fu introdotta e pianificata per offrire un buon livello qualitativo di ascolto agli utenti dotati di un ricevitore fisso con antenna direttiva: tuttavia il degradamento dovuto alle interferenze conseguenti al sovraffollamento della banda, la scarsa attitudine ad essere ricevuta da mezzi mobili, e il nuovo impulso dato nell'audio dalle tecniche digitali (Compact Disc, DAT ecc.), inducono lo studio di sistemi alternativi interamente nuovi. In questo contesto si inserisce il DAB (Digital Audio Broadcasting), un nuovo sistema di radiodiffusione basato su procedure avanzate di codifica audio, sull'uso di tecniche numeriche per la modulazione e la codifica di canale, che permette di offrire all'utente una qualità sonora indistinguibile da quella del Compact Disc anche in condizioni difficili di ricezione mobile, ad esempio in presenza di multipath fading e di effetto Doppler. Questo articolo introduce il sistema DAB sviluppato nell'ambito del consorzio europeo Eureka EU-147 descrivendone le caratteristiche principali e illustrando le soluzioni tecniche adottate.

*SUMMARY — **DAB (Digital Audio Broadcasting): advanced solutions for sound broadcasting.** FM broadcasting was introduced and planned in order to offer a good sound quality to the users equipped with a fixed receiver and directional antenna: nevertheless the impairment due to interferences coming from spectrum overcrowding, the low suitability of mobile reception and the adoption of new digital techniques in sound (Compact Disc, DAT, etc.) give rise to the study of new alternative systems. In this context, the DAB (Digital Audio Broadcasting) represent a new broadcasting system, based on advanced audio coding techniques, on digital modulation and channel coding techniques aiming to offer to the final user an audio quality similar to the Compact Disc also in critical mobile reception conditions, like in presence of multipath fading and Doppler effects. This paper introduces the DAB system developed by the Eureka EU-147 european consortium, describing its main characteristics and depicting the technical solutions adopted.*

1. Introduzione

L'utilizzazione di tecniche digitali nell'ambito della produzione dei programmi, sia televisivi che radiofonici, ha permesso di ottenere livelli di qualità molto elevata; tuttavia, a causa dell'attuale diffusione in forma analogica, il segnale ricevuto dagli utenti rimane di qualità modesta. I mezzi di trasmissione oggi usati risentono infatti del compromesso fra occupazione di banda e quantità di informazione che è possibile trasmettere; inoltre all'interno di una banda di trasmissione molto spesso il segnale è soggetto ad interferenze da canali adiacenti, distorsioni dovute a riflessioni provocate da ostacoli di vario tipo, ecc.

I sistemi digitali di trasmissione, in unione con sistemi di compressione dell'informazione, permettono di migliorare la qualità fornita all'utente, senza però richiedere occupazioni di banda superiori, e di ridurre, in certi casi, la potenza necessaria per l'emissione. Inoltre può risultare facilitata la realizzazione di reti isofrequenziali (Single Frequency Network, SFN) per la distribuzione all'utente. Le tecniche di correzione d'errore, di *diversity* spaziale, temporale e frequenziale, permettono anche di ottenere un'elevata protezione alle interferenze e minore sensibilità agli effetti delle riflessioni.

Occorre comunque considerare che i formati digitali di trasmissione non sono compatibili con quelli analogici, e quindi l'introduzione della trasmissione digitale implica, almeno in una prima fase, la coesistenza di sistemi vecchi e nuovi.

In questo contesto si colloca il sistema DAB, sviluppato in Europa nell'ambito del progetto Eureka EU-147 in collaborazione con l'UER, progettato per permettere la diffusione terrestre, via satellite e via cavo in diverse bande di frequenza (VHF, UHF e banda L a 1.5 GHz) di un blocco di programmi audio stereofonici di elevata qualità (5 o 6 a seconda delle esigenze e della qualità richiesta) più dati addizionali, occupando una banda di 1.5 MHz.

Sempre in ambito europeo, grazie all'attività congiunta dell'UER, dell'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e dei partner del consorzio Eureka EU-147, sta per concludersi la stesura di una normativa europea ETSI che descrive lo standard di trasmissione del segnale DAB.

I concetti generali del sistema DAB/EU-147 sono ben noti a livello mondiale in seguito all'adozione, da parte del CCIR nel Novembre 1991, delle nuove Raccomandazioni 774 e 789 (Digital System A). Inoltre, durante la conferenza WARC '92 a Torremolinos, è stata assegnata a

* Ingg. Gino Alberico, Silvio Ripamonti e Bruno Sacco del Centro Ricerche RAI - Torino.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione l'11 ottobre 1993.

livello mondiale (eccetto che per gli Stati Uniti), la banda L (1452-1492 MHz) per la diffusione sonora numerica via satellite e terrestre. Tale banda non sarà utilizzabile in Europa prima dell'anno 2007, pertanto l'obiettivo a breve scadenza è quello di introdurre un servizio DAB terrestre utilizzando i canali disponibili nelle bande VHF-UHF. Ciò permetterà di utilizzare, senza grandi modifiche, una parte delle strutture esistenti, riducendo così gli investimenti che dovranno affrontare gli enti radiodiffusivi.

2. La definizione del sistema DAB

La fase di definizione del sistema DAB, oggi appena conclusa, è stata abbastanza travagliata, è passata attraverso numerose revisioni, tutte però mirate a mantenere gli obiettivi iniziali, come ad esempio, la ricezione mobile ad alta qualità o la possibilità di reti in isofrequenza. Nel seguito di questo articolo verranno esaminati gli aspetti tecnici implementativi del sistema DAB, cercando di dare una giustificazione alle scelte operate nella sua definizione e di dare spiegazione, anche solo qualitativa, dei fenomeni che rendono critica la ricezione in un canale radiomobile. I concetti di seguito riportati sono applicabili in generale a tutti i sistemi basati sulla modulazione OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), non necessariamente DAB.

3. Considerazioni sulla propagazione

Tutte le bande utilizzate per la radiodiffusione soffrono del cosiddetto *Fading* o *Evanescenza*. Le cause sono diverse da banda a banda, ma il fenomeno fisico che lo provoca è lo stesso: la sovrapposizione di due (o più) onde con differente ampiezza e fase, dovute a diverso cammino ottico percorso, quindi diverso ritardo. La sovrapposizione può dar luogo a interferenza costruttiva o distruttiva a seconda della relazione di fase tra le onde. Il fenomeno, detto *Cammino multiplo* o *Multipath* (vedi figura 1) può essere causato da riflessioni (echi), diffrazione da ostacoli o da non omogeneità del mezzo propagativo.

In uno scenario in cui siano presenti due o più onde in sovrapposizione si configura topograficamente una distribuzione di massimi e minimi di segnale ricevuto. Questi ultimi possono risultare anche molto accentuati, ed

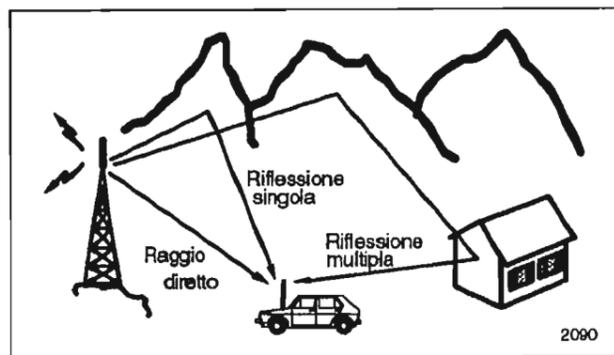



Fig. 1 — Esempio di multipath causato da riflessioni.

essere responsabili del fuori servizio del ricevitore. Un ricevitore mobile che transita in tali zone incontra forti fluttuazioni di campo ricevuto. Analogamente un ricevitore fisso può trovarsi in un punto di campo minimo e di conseguenza essere perennemente fuori servizio. La distribuzione dei massimi e minimi, inoltre, dipende anche dalla frequenza (si parla quindi di *fading selettivo*); nel modello di canale più semplice, quello con due soli raggi, tale distribuzione è periodica e la periodicità dipende dall'inverso del ritardo del raggio secondario rispetto al principale. A ritardi brevi sono dunque associati periodi lunghi e viceversa.

Sono stati classificati alcuni tipi di ambiente in base alle caratteristiche di propagazione e di distribuzione dei ritardi:

- *Area urbana densa*: è caratterizzata da riflessioni da ostacoli vicini e, in generale, dalla mancanza di un raggio diretto;
- *Area urbana*: gli echi provengono da ostacoli un po' più distanti, e di conseguenza i ritardi sono lievemente maggiori;
- *Area rurale*: è quasi esclusivamente influenzata a echi lontani (es. colline, case mediamente distanti) e deboli.
- *Area collinosa*: come la precedente, ma con echi più intensi.

L'effetto macroscopico del multipath fading sul canale di trasmissione è comunque quello di perturbarne la risposta ampiezza/frequenza e ritardo di gruppo/frequenza, con conseguente distorsione lineare del segnale ricevuto. Le modulazioni numeriche sono sensibili a questi fenomeni in modo più o meno accentuato; l'effetto pratico è la comparsa di *interferenza intersimbolica*. Se il segnale ricevuto subisce una attenuazione (su tutta la banda di ricezione) tale da provocare un tasso d'errore elevatissimo, si ha come conseguenza il fuori servizio del ricevitore.

La ricezione mobile inoltre risente dell'effetto *Doppler*, una distorsione frequenziale del segnale ricevuto dovuto al moto relativo tra sorgente e ricevitore. L'effetto Doppler può far comparire un istantaneo accumulo di fase tra il segnale ricevuto e quello localmente rigenerato che viene usato come riferimento per la demodulazione coerente, degradando le prestazioni del ricevitore.

3.1 CARATTERISTICHE DEL CANALE VHF/UHF

La radiodiffusione a copertura locale è allocata nelle bande VHF/UHF. Qui il canale propagativo è interessato da zone di ombra dovute ad ostacoli di diversa natura (edifici, alberi, ecc.) e, in generale, alle condizioni orografiche del territorio; questo fenomeno aumenta al crescere della frequenza.

Il *multipath fading* provoca una distribuzione di ritardi nella risposta all'impulso del canale che dipende dalle zone di servizio. Ad esempio i ritardi rispetto al raggio principale riscontrati in un ambiente cittadino sono dell'ordine di 1,5-4 μs (bibl. 1) e la loro ampiezza (potenza) decresce con l'aumentare del ritardo. In territorio montagnoso e collinoso invece si possono assumere valori di molte decine di microsecondi, ma si tenga presente che ad echi distanti sono in genere associati forti attenuazioni. Si può anche considerare la diffusione da ostacoli (ad esempio alberi ecc.) come caso limite del multipath fading; l'effetto di questo fenomeno però è poco selettivo nelle frequenze.

Tutti i fenomeni sopra citati influenzano il livello del segnale ricevuto con una statistica di tipo *log-normale* se mediato su «grandi aree» (decine di lunghezze d'onda), accoppiato con una distribuzione alla *Rayleigh* (in assenza di raggio diretto), o alla *Rice* (se presente anche il raggio diretto) se mediato su piccole aree.

Nella ricezione fissa il ritardo associato ad ogni cammino è costante, ma per un ricevitore in movimento tale ritardo varia in modo proporzionale alla componente del vettore velocità nella direzione del raggio. Quindi differenti spostamenti *Doppler*, ciascuno associato ad una direzione in arrivo, sono presenti al ricevitore. Ogni componente spettrale del segnale risulta quindi «dispersa» («*spread*») in un intorno della sua frequenza originale; l'effetto Doppler è dunque descritto in termini di «Doppler spread», del suo inverso «tempo di correlazione» o «tempo di coerenza». Il Doppler spread è uguale a $2v/\lambda$ dove v è la velocità del ricevitore e λ la lunghezza d'onda della portante. Dunque per un veicolo fermo il Doppler spread tende a zero ed il tempo di coerenza tende ad infinito. Il Doppler spread aumenta all'aumentare della frequenza f.

Nella ricezione mobile un altro fattore da tenere in considerazione è l'attenuazione subita da un segnale per penetrare all'interno di edifici; i valori possono essere notevoli (oltre 20dB) e dunque rendere critica la ricezione da satellite, in cui è antieconomico prevedere adeguati margini.

4. Il sistema DAB

Il DAB è un sistema complesso che definisce aspetti diversi quali la codifica di sorgente, la modulazione, la codifica di canale, il multiplexing e la sincronizzazione.

Lo sviluppo di un algoritmo di compressione (codifica di sorgente) estremamente efficiente ha reso fattibile la trasmissione di un programma stereofonico digitale di alta qualità su un canale radio di banda comparabile a quella richiesta per i sistemi analogici convenzionali (MF, circa 300 kHz) con modulazioni numeriche a modesta efficienza spettrale, e quindi elevata robustezza.

D'altro canto l'adozione di un sofisticato schema di modulazione/codifica di canale/diversity (si veda oltre) è risultata vincente nei confronti dell'ambiente propagativo estremamente avverso in cui si trova ad operare il ricevitore.

Il sistema prevede tre diversi modi di trasmissione legati all'applicazione e alla gamma di frequenze utilizzata. Questi modi si contraddistinguono per una diversa durata dei simboli in trasmissione, per la lunghezza della trama, per il numero e la spaziatura delle portanti sul canale, come indicato in tabella 1.

- Il modo I è adeguato per la realizzazione di reti a singola frequenza (SFN) nelle bande I, II e III (VHF);
- Il modo II è più adatto a trasmissioni di carattere locale in cui in genere è coinvolto un singolo trasmettitore, ed è previsto per l'utilizzo di frequenze fino a poco più di 1 GHz (bande I, II, III, IV e V). Inoltre può essere utilizzato per reti SFN locali inserendo ritardi artificiali sui trasmettitori e usando antenne direttive;
- Il modo III è previsto per l'impiego in reti terrestri, via satellite e in cavo con frequenze fino a 2.7 GHz.

TABELLA I

Parametro	Modo I	Modo II	Modo III
N° di portanti	~1500	~400	~200
Durata simbolo (μs)	1000	250	125
Intervallo di guardia (μs)	246	250	125
Ritardo max. eco (μs)	300	75	37,5
Max. dist. fra TX (km)	100	25	3000
Max. freq. util. (MHz)	375	1500	3000
Lunghezza trama (ms)	96	24	24

Un approccio differente, preso in esame ma non adottato in Europa, è una versione «ridotta» del DAB, in cui un solo programma stereo più dati viene trasmesso in un canale radio di banda compatibile con la canalizzazione MF attuale (si parla di sistemi «In Band»). In questo modo si consentirebbe l'introduzione immediata del servizio DAB direttamente in banda MF senza necessità di liberare 1.5 MHz contigui su tale banda.

Con un sistema a larga banda non si hanno i vantaggi elencati in precedenza, ma si può beneficiare di un maggiore diversity in frequenza, utile come si vedrà più avanti, contro l'effetto di riflessioni ed interferenza.

4.1 CODIFICA AUDIO

In fase di stesura della norma del sistema DAB, furono proposte diverse tecniche di codifica audio; i primi sistemi basati sul *Companding* (COMPression + expANDING), come ad esempio il sistema NICAM, vennero scartati per le basse prestazioni in termini di riduzione del bit rate, mentre vennero esaminati a fondo sistemi più recenti basati sulla DCT (Discrete Cosine Transform) o sul sub-band coding.

Il sistema adottato per il DAB è stato il MUSICAM (Masking-pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing), una versione rivisitata del *MASCAM* proposto dall'IRT, facente parte dell'ultima famiglia. Tale sistema offre, già a 100 kbit/s per canale monofonico, una qualità soggettiva molto vicina al materiale sorgente anche con brani musicali critici.

Questa tecnica di riduzione del bit rate si basa su una proprietà dell'orecchio umano: segnali di livello elevato a una (o più) frequenze dello spettro udibile mascherano di fatto componenti più deboli presenti a frequenze vicine. È quindi possibile economizzare sull'informazione trasmessa senza una soggettiva riduzione della qualità all'ascolto. Lo spettro audio viene diviso in un certo numero di sotto-bande per mezzo di un banco di filtri; ogni sottobanda viene quindi quantizzata separatamente sulla base di un modello psicoacustico necessario per determinare il livello di rumore accettabile in essa.

Una caratteristica di questo sistema è che lo spettro di energia del rumore causato da un errore sul bit è confinato ad una singola sottobanda ed è limitato dal fattore di scala relativo alla stessa sottobanda. Conseguentemente

il segnale di errore «mima» il segnale sorgente e l'effetto soggettivo degli errori di trasmissione risulta quindi mitigato. Requisito fondamentale per ottenere una buona qualità è che i fattori di scala (che rappresentano il 17% del bit-rate utile) siano ben protetti.

Qualitativamente gli algoritmi oggi implementati permettono l'indistinguibilità del segnale numerico compresso rispetto al Compact Disc con un bit rate di soli 256 kbit/s per canale sterofonico. Si ricorda che il bit rate netto del Compact Disc è di 1.408 Mbit/s per cui il fattore di compressione risulta essere di 5.5.

4.2 Modulazione / codifica di canale

La ricezione mobile in ambienti «difficili» dal punto di vista propagativo come possono essere quelli urbani costituisce una vera e propria sfida; tuttavia le problematiche legate al multipath fading cui si accennava sopra, ed agli effetti sulle trasmissioni numeriche sono da tempo oggetto di studio primariamente nell'ambito della futura introduzione della radiotelefonia cellulare digitale («GSM»), e per comunicazioni militari.

I principali provvedimenti adottabili in presenza di canale con echi (multipath fading) sono i seguenti:

— *«Diversity»*

Dato che il multipath fading provoca la comparsa, nello spazio e nel dominio della frequenza, di punti di minimo, i punti dello spazio e le frequenze interessati (non noti a priori) risultano penalizzati mentre gli altri punti sono ancora validi per la ricezione. In particolare le tecniche sono:

- «*Diversity*» spaziale: è basata sull'impiego di più antenne; se le antenne sono spaziate di almeno $\lambda/2$ il fading dei segnali ricevuti dalle antenne risulta indipendente. Questa tecnica giova anche alla ricezione in sistemi analogici (es.: MF). In condizioni ideali un sistema digitale con diversity a quattro antenne in un canale con fading alla Rayleigh permetterebbe una riduzione del margine di collegamento di 36 dB (bibl. 2).

  Un sistema con codifica convoluzionale rate 1/2, K = 7, diversity in ordine M, e combinatore «a massimo rapporto», in presenza di multipath fading con statistica alla Rayleigh ha le seguenti prestazioni (vedi annex 3 della bibl. 2):

Eb/No [dB]	BER [M = 3]	BER [M = 4]
5.0	1.2 E-3	9.7 E-7

- «*Diversity*» in frequenza: consiste nel distribuire l'informazione su quante più frequenze si riesce, in modo che, mediamente, la trasmissione nel suo insieme sia meno penalizzata: si parla per questo motivo di *Diversity in frequenza*. Si può ottenere ciò in vari modi, ad esempio con le tecniche di *Spread Spectrum* militari, valide ma non convenienti per applicazioni civili per la loro pessima efficienza spettrale, e con sistemi multiportante come l'OFDM, adottato nel DAB, di cui si parlerà oltre in questo paragrafo.

— *Equalizzazione*

Un circuito equalizzatore adattativo può cancellare gli echi dal segnale ricevuto, restituendo un segnale indistorto. Tuttavia su un sistema numerico a singola portante l'elevato rapporto tra durata degli echi e tempo di simbolo richiederebbe equalizzatori con un elevatissimo numero di celle, non facilmente realizzabili.

Il DAB adotta la tecnica di *frequency diversity* utilizzando un sistema multiportante *OFDM*. Per allargare la banda si aumenta artificialmente il bit rate trasmettendo un multiplex formato da più programmi (cinque, per la precisione). A differenza dei sistemi spread spectrum, qui l'efficienza spettrale è mantenuta globalmente, poiché in una banda cinque volte maggiore vengono trasmessi cinque programmi. Se la scelta del metodo di multiplazione e quello successivo di suddivisione del flusso di dati è fatto in modo sufficientemente oculato, le portanti che competono a ciascun programma risultano distribuite in modo uniforme su tutta la banda disponibile.

La modulazione scelta, per ciascuna portante, è il QPSK, perché rappresenta un buon compromesso tra efficienza spettrale (2 bit/Hz) da un lato e robustezza e semplicità di implementazione dall'altro.

Si noti che il bit rate totale viene suddiviso su N portanti, e dunque ogni portante risulta modulata a un bit rate estremamente basso, essendo stato ridotto di un fattore N. Inoltre se la spaziatura tra le portanti è rigorosamente uguale all'inverso del tempo di simbolo le portanti risultano mutuamente ortogonali; in tal senso si parla di OFDM.

Una ulteriore protezione viene ottenuta mediante l'inserimento del cosiddetto *intervallo di guardia*. Essendo il sistema lineare, la risposta del canale al segnale OFDM può essere vista come la sovrapposizione di due contributi: un *transitorio* ed una *risposta a regime*. Il primo ha una durata circa pari alla durata della risposta all'impulso, e poi si estingue, la seconda è il segnale OFDM stesso, moltiplicato frequenza per frequenza per una costante (complessa) che dipende dal canale. Nel periodo di tempo in cui è presente il transitorio iniziale la ricezione è affetta da interferenza intersimbolica, dovuta alla sovrapposizione progressiva dei vari echi: quando non ci sono più ulteriori echi, ovvero quando il canale è andato a regime, il segnale ricevuto diventa statico, anche se la sua ampiezza e fase risultano ripesate frequenza per frequenza, come effetto della risposta a regime del canale. Se si riesce a fare in modo che il ricevitore ignori il transitorio e corregga l'ampiezza e fase del segnale a regime ricevuto si può dunque ottenere una ricezione priva di ogni distorsione lineare. La soluzione più immediata sarebbe aumentare indefinitamente il tempo di simbolo, in modo che al suo confronto la durata del transitorio risulti trascurabile, senza bisogno che il ricevitore lo ignori artificialmente. Tale soluzione non è ottima, e inoltre la sua applicazione è limitata dal tempo di coerenza del canale dovuto all'effetto Doppler ed eventualmente dal rumore di fase degli oscillatori di conversione. Un metodo alternativo consiste nel mantenere costante (ma massimo) il tempo di simbolo, ma fare in modo che il transitorio risulti anticipato. A tal fine, in trasmissione si prolunga artificialmente il simbolo incollando in testa allo stesso un segmento della coda; per le proprietà di periodicità della forma d'onda associata al simbolo si può facilmente verificare che nella giunta non

si crea una discontinuità; se la durata del segmento viene dimensionata in modo tale da essere maggiore della durata massima della risposta all'impulso del canale, in ricezione risulterà corrotto dal transitorio solo tale segmento (da cui il nome di *intervallo di guardia*) e verrà scartato. La durata dell'intervallo di guardia è un parametro di progetto del sistema e deve essere dimensionato tenendo conto che costituisce comunque una sorta di ridondanza e quindi il bit rate utile viene ridotto.

Il tempo di guardia è comunque capacità trasmissiva inutilizzata, e viene trasmesso una volta ogni simbolo. Una ottimizzazione possibile è dunque massimizzare il tempo di simbolo a parità di tempo di guardia. Dato che il tempo di simbolo vale N/Bw, dove N = numero delle portanti, Bw = banda del segnale, il numero di portanti N è stato scelto molto elevato, da alcune centinaia ad alcune migliaia, a seconda dei «modi».

Come si è visto lo schema di modulazione adottato per il DAB può cautelare contro gli effetti del multipath fading, o almeno, quando questi sono di entità ragionevolmente contenuta. Se però il fading selettivo provoca *buchi* nello spettro molto profondi si perdono le informazioni relative alle portanti soppresse dall'attenuazione. Solitamente vengono perse molte portanti vicine tra di loro, cosa che produrrebbe la comparsa sul flusso di dati di errore a pacchetto (o a «*Burst*»). Il rimedio possibile è aggiungere ridondanza in trasmissione per poter effettuare una correzione d'errore in ricezione, e nel contempo adottare tecniche (*Interleaving*) per distribuire il più possibile gli errori a *Burst*. Si tratta sostanzialmente di una ridistribuzione temporale dei bit secondo un algoritmo che garantisca che i bit contigui vengano distanziati il più possibile; in trasmissione un'operazione inversa compensa questo trattamento dal punto di vista del flusso informativo. Per analogia con le tecniche di *diversity* accennate sopra, si dice che l'interleaving fornisca una «*diversity* nel tempo» («*time diversity*»).

Gli errori a *Burst* più disastrosi sono causati dal passaggio del ricevitore in movimento in una zona di minimo del campo ricevuto, la loro durata dipende dal tempo di transito in tale zona. Ciò impone un compromesso tra la velocità del veicolo e la quantità di memoria richiesta per l'interleaving nel tempo necessaria.

La codifica di canale viene applicata ad ogni programma; la codifica di canale utilizzata nel sistema DAB è quella convoluzionale, con coding-rate variabile.

La combinazione time diversity/correzione d'errore può fornire risultati molto validi; idealmente, in alcune condizioni operative, sarebbe possibile un guadagno di 36 dB (bibl. 2).

4.3 Prestazioni del DAB su un canale con rumore gaussiano bianco e confronto con l'MF

Per la FM monofonica, con deviazione 75 kHz e preenfasi di 50 µs, si può assumere un C/N (in 250 kHz) di 10 dB come valore di soglia, per un impairment 3 (raccomandazione 562) (vedi tabella III della bibl. 2).

Per il DAB si deve definire un obiettivo in termini di BER, a cui è associato un Eb/No che dipende dalla modulazione/codifica di canale utilizzata. Un valore BER = 10^{-3}, che corrisponde alla soglia di udibilità degli errori, per il Musicam con «gap concealment» (bibl. 1), può essere considerato come tasso d'errore di riferimento.

Con modulazione QPSK differenziale e codifica convoluzionale rate 1/2 e constraint length K = 7, è necessario un Eb/No di 8.5 dB, corrispondente ad un Ebu/No di 5.5 dB, per ottenere un BER di 10^{-3} [vedi tabella VI della bibl. 2, i cui valori si riferiscono a un sistema stereofonico]; questo equivale ad un C/N (in 250 kHz) di 6.7 dB. Tale valore passa a 3.7 dB considerando il caso monofonico.

Per il caso monofonico il guadagno dal passaggio dal sistema FM al numerico risulta dunque di circa 6.3 dB.

4.3.1 Guadagno sul multipath fading al variare della banda del sistema (frequency diversity)

Da prove su campo eseguite trasmettendo un segnale OFDM a banda larga e registrando istante per istante la potenza ricevuta in filtri di differente banda, risulta (bibl. 4):

Potenza relativa a Bw = 100 kHz, 99% delle zone. [dB]			
Zona	Bw = 300 kHz	Bw = 1,5 MHz	Bw = 5MHz
Urbana densa	3.9	8.2	9.5
Urbana	3.0	6.9	8.0
Suburbana/ Forestale	2.5	5.8 - 7.5	7.0-9.0
Rurale	0.9	2.0	2.8

Questi guadagni sono riferiti (0 dB) alla potenza ricevuta in un filtro con larghezza di banda di 100 kHz, e ad una percentuale di spazio del 99%. Queste prove assumono come ipotesi di partenza che il sistema OFDM compensi in modo perfetto ogni selettività del canale all'interno della banda del sistema, dovuta a echi con ritardo minore alla durata dell'intervallo di guardia (16 µs); in questo senso il calo di prestazioni si può correlare al solo livello di potenza ricevuta.

Come si può notare il sistema che offre il migliore compromesso tra guadagno e spectrum spreading è quello a 1.5 MHz; un sistema a banda stretta (300 kHz) perde rispetto a questo circa 4dB.

Vi sono altri criteri da considerare nella scelta del parametro larghezza di banda del sistema DAB: N canali stereofonici possono essere trasmessi in multiplex in un sistema DAB a larga banda o in N sistemi DAB a banda stretta. In generale N trasmettitori a banda stretta sono di più flessibile gestione, per i seguenti motivi:

- permettono una introduzione più graduale del servizio;
- non richiedono di essere collocati in un sito unico;
- non devono necessariamente essere contigui in frequenza;
- ciascuno avrà una potenza di uscita N volte inferiore di quella richiesta da un singolo trasmettitore a larga banda.

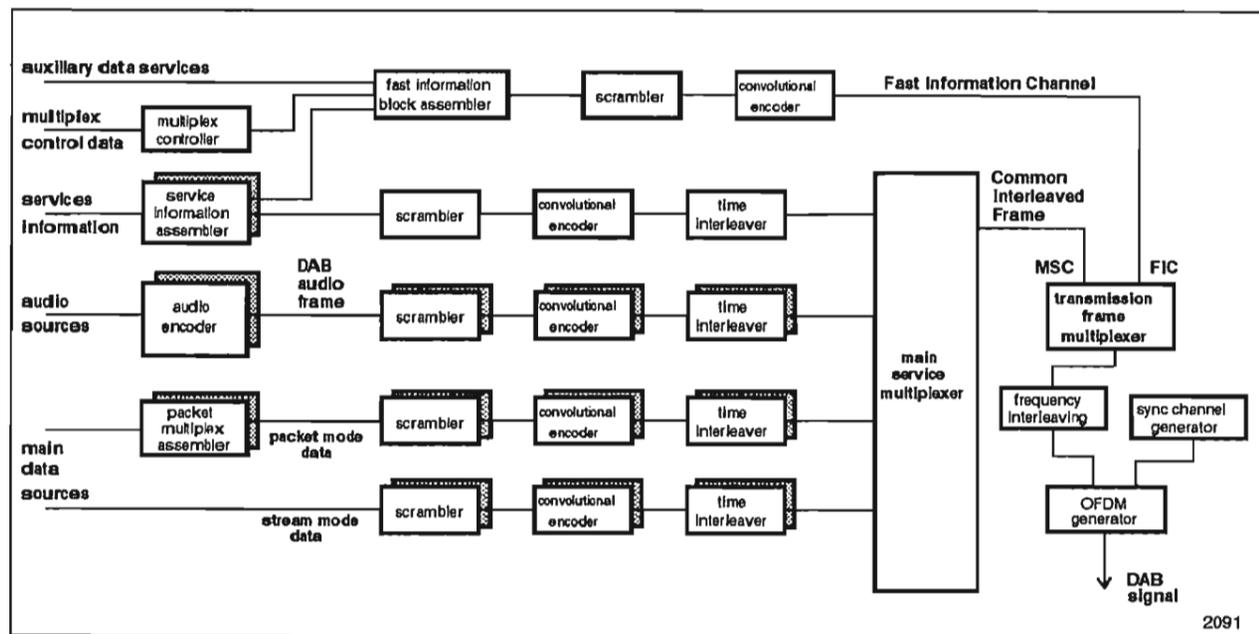
Per il caso MF non si hanno dati relativi all'eventuale guadagno sul multipath fading all'aumentare della deviazione; comunque in questo caso non è possibile mantenere l'efficenza spettrale con un multiplex di canali, come nel caso numerico, e risulta dunque sconveniente sacrificare banda per guadagnare sul fading.

4.4 Multiplex

Nei paragrafi precedenti si sono esaminati gli aspetti inerenti alla codifica di sorgente, al sistema di modulazione e alla codifica di canale utilizzati nel sistema DAB. Si è inoltre accennato al fatto che, per mantenere una buona efficienza spettrale, sia opportuno trasmettere un bit-rate elevato sul canale multiplando fra loro diversi programmi.

Tipicamente, un blocco DAB occupa una banda di 1.5 MHz e può essere utilizzato per il trasporto di 5 o 6 programmi stereofonici di elevata qualità (256 kbit/s ciascuno), con la possibilità tuttavia di riconfigurare opportunamente il multiplex a seconda delle esigenze, suddividendo in modo flessibile la capacità disponibile tra programmi audio aventi bit-rate diversi, e servizi dati.

Una situazione che si potrebbe verificare è quella in cui il singolo ente diffusivo non sia in grado di fornire un numero di servizi tale da occupare tutto il blocco. In tal caso di dovrebbe prevedere una collaborazione con altri enti, vendendo o acquistando una certa capacità trasmissiva.

Nella descrizione che segue, si farà riferimento alla figura 2 che riporta lo schema a blocchi relativo alla parte di trasmissione e illustra le operazioni a cui sono soggette le diverse fonti di informazione prima di arrivare al segnale DAB da trasmettere. Sono previsti diversi ingressi per i programmi audio, per servizi dati di uso generale e per informazioni ausiliarie sulla tipologia dei servizi in onda e sulla struttura del multiplex. Per quanto riguarda l'audio, il sistema consente di scegliere, a seconda delle esigenze, il numero di programmi e per ognuno di esso il formato di presentazione (stereo, mono, ecc.), la qualità (bit-rate) e il grado di protezione, ossia di robustezza del segnale. Il sistema inoltre prevede diversi servizi dati: dati di uso generale, dati associati al programma sonoro, dati per agevolare la selezione di programmi su altre reti, informazioni sui servizi presenti nel multiplex, ecc.

Il segnale DAB in uscita dal sistema è costituito dalla somma di tre contributi, facenti capo ad altrettanti meccanismi di trasporto:
- un canale principale per il trasporto di tutti i servizi audio e dati di uso generale indicato in figura 2 come *Main Service Channel* (MSC);
- un canale veloce detto *Fast Information Channel* (FIC) concepito in modo tale da convogliare al ricevitore informazioni il cui accesso deve essere rapido;
- un canale di sincronizzazione (blocco *sync channel generator* in figura 2), sfruttato dal demodulatore per funzioni come il recupero del sincronismo, il controllo automatico di frequenza e la stima dei parametri del canale.

Questi diversi meccanismi di trasporto confluiscono nella trama di trasmissione (*DAB signal*, in figura 2) del sistema DAB attraverso la costruzione di diverse trame corrispondenti ad altrettanti livelli di multiplex:
- *multiplex audio*: riferito alla trama del segnale audio (*DAB audio frame*, in figura 2) in uscita dal codificatore audio;
- *multiplex principale*: genera una trama intermedia, detta *Common Interleaved Frame* (CIF, in figura 2), comune ai tre diversi modi di trasmissione;
- *multiplex di trasmissione*: raccoglie i contributi precedenti e raggruppa i diversi meccanismi di trasporto per generare il segnale DAB in trasmissione (*DAB signal*, in figura 2).

Nel seguito saranno descritte con maggior dettaglio le caratteristiche dei meccanismi di trasporto sopra citati facendo riferimento ai tre multiplex del DAB.

4.4.1 *Configurazione del multiplex*

Per capire il sistema di multiplazione adottato nel DAB è necessario introdurre i concetti di *servizio* e di *componenti* di un servizio, spiegandoli dal punto di vista di un potenziale utente. La prima opreazione che un utente deve svolgere è, normalmente, la selezione di un «blocco DAB» tra quelli disponibili. Ogni blocco può offrire accesso a più *servizi*, ognuno dei quali contiene una o più *componenti*. La componente essenziale di un *servizio* viene detta *primaria* ed è tipicamente un programma audio (anche se non si esclude che possa essere *primario* anche un servizio dati). Tutte le altre componenti opzionali sono dette *secondarie*.

Fig. 2 — Schema a blocchi concettuale di trasmissione del sistema DAB.

IL DAB (DIGITAL AUDIO BROADCASTING): NUOVE SOLUZIONI TECNICHE PER LA RADIODIFFUSIONE SONORA

Fig. 3 — Struttura di servizi all'interno di un blocco DAB.

Un esempio di blocco DAB (la cui etichetta è «RADIO RAI») che trasporta diversi *servizi* è riportato in figura 3 dove vengono indicati tre dei possibili *servizi* accessibili dall'utente.

Il primo *servizio* (identificato da «RADIO NAZ. 1») comprende tre *componenti*: una *primaria* audio e due *secondarie* che sono usate rispettivamente per un canale per messaggi sul traffico (Traffic Message Channel, TMC) e per un servizio dati («DATI RAI»). L'audio e i dati sono trasportati in *sottocanali* nel canale principale (MSC), mentre il TMC è trasportato nel canale senza interleaving di tempo (Fast Information Channel).

Il secondo *servizio* (identificato da «RADIO REG. 1») comprende due *componenti*. In questo caso c'è un programma audio *primario* e uno *secondario*.

Esiste poi la possibilità di collegare le *componenti* in modo tale da condividerle tra più *servizi* diversi. Così ad esempio il terzo *servizio* (identificato da «RADIO NAZ. 2») condivide la componente TMC con «RADIO NAZ. 1». Inoltre, in diversi momenti della giornata, può utilizzare lo stesso audio di «RADIO NAZ. 1» come illustrato schematicamente in figura 3 per mezzo di un interruttore.

L'organizzazione dei *servizi*, delle *componenti* e dei *sottocanali* in un blocco DAB viene gestita attraverso codici denominati Multiplex Configuration Information (MCI), i quali servono per cinque funzioni essenziali:
- definire l'organizzazione dei *sottocanali* in termini di posizione e dimensione occupati nella trama e la loro protezione dagli errori;
- elencare i *servizi* disponibili nel blocco DAB corrente;
- fissare i collegamenti tra *servizi* e loro *componenti*:
- fissare i collegamenti tra le *componenti* e i *sottocanali*;
- segnalare in anticipo un'eventuale riconfigurazione del multiplex.

Ovviamente, affinché il ricevitore possa prontamente immagazzinare e utilizzare tali informazioni, i codici MCI sono trasportati nel canale veloce FIC e sono ripetuti a intervalli brevi in modo da ridurre il tempo di acquisizione quando si commuta da un blocco DAB ad un altro oppure quando si accende il ricevitore.

4.4.2 *Multiplex audio*

Ogni ingresso audio viene campionato, suddiviso in blocchi di durata pari a 24 ms (equivalenti a 1152 campioni f_c = 48 kHz), e sottoposto al processo di codifica di sorgente. Nel caso di programma stereofonico i due canali vengono in genere processati separatamente e poi raggruppati formando una singola trama (di circa 4000 bit) la cui struttura corrisponde allo standard di codifica audio «ISO 11172 Layer II». All'interno della trama audio è previsto anche un meccanismo per il trasporto (circa 2.6 kbit/s) di «dati associati al programma audio» (Programme Associated Data, PAD), cioè di dati riguardanti applicazioni che devono essere sincronizzate con il programma audio, ad esempio: testi alfanumerici inerenti al brano musicale in onda, controllo della dinamica del segnale per adattarla all'ascolto in ambienti rumorosi, flag indicatori del tipo di segnale (musica/parlato) che può subire un trattamento differenziato nel decodificatore, ecc.

Alla trama audio così costituita vengono in seguito aggiunti i campi necessari per gestire il controllo di accesso e un certo numero di Bit di ridondanza che dipende dallo schema di codifica adottato. All'interno della trama audio sono compresi tutti i campi che contengono le informazioni relative alle caratteristiche del segnale, quali ad esempio il bit-rate, la frequenza di campionamento, il formato (stereo, mono, dual, ...), la classificazione del contenuto (originale/copia, copyright).

Poiché nella trama audio i bit hanno un'importanza diversa a seconda della posizione che occupano nella trama stessa, il processo di codifica convoluzionale, che viene applicato successivamente, utilizza un rapporto di codifica variabile secondo uno dei possibili profili di protezione predefiniti, in modo da proteggere meglio le informazioni critiche. I servizi diversi dall'audio sono in genere protetti con un codice convoluzionale a rapporto fisso.

4.4.3 *Multiplex principale*

Le diverse sorgenti di programma (audio o servizi dati) dopo essere state sottoposte a scrambling, codifica convoluzionale e interleaving nel tempo, confluiscono nel multiplex principale (Main Service Channel) dove, ogni 24 ms, i dati vengono raccolti in sequenza in una trama comune (Common Interleaved Frame). A questo livello del multiplex i dati sincronizzati di tutti i servizi vengono messi insieme e la trama in uscita è detta «comune» in quanto è indipendente dal modo di trasmissione utilizzato per il segnale trasmesso. In altre parole, l'intervallo temporale di 24 ms adottato, è una base fissa per la costruzione della trama finale che ha invece caratteristiche diverse (come temporizzazione, numero e durata dei simboli sul canale) e variabili a seconda del modo di trasmissione usato. La durata di 24 ms è la stessa della trama audio in modo tale che ogni trama CIF contenga le trame audio dei diversi programmi, una per ogni sorgente. Questo comporta che i diversi programmi audio, di solito originati in studi geograficamente separati, vengano poi multiplexati in modo sincrono nel punto in cui avviene la generazione del segnale DAB. Si rende quindi necessario un meccanismo di buffer per compensare i clock di diverse sorgenti.

La sequenza di bit in uscita dal multiplex principale (MSC) corrisponde ad un flusso lordo di circa 2.3 Mbit/s, equivalente ad un flusso di dati utile variabile tra 0.8 e 1.7 Mbit/s, in funzione del rapporto di codifica scelto per ognuna delle applicazioni inserite nel multiplex. La minima unità indirizzabile in tale trama è un blocco di 64 bit denominato *Capacity Unit* (CU). Il canale principale (MSC) è suddiviso in sotto-canali che occupano ciascuno un numero intero di CU consecutive e sono individualmente soggetti a codifica convoluzionale.

All'interno di questa trama i servizi dati possono essere trasportati o con una struttura a pacchetti (*packet mode* data) oppure come blocchi non formattati (*stream mode* data) gestiti in modo asincrono aventi un bit-rate multiplo di 8 kbit/s. Nel caso «*stream mode data*», usato ad esempio per il trasporto dei canali audio, ogni sotto-canale può trasportare una e una sola componente di un servizio (per esempio Radiodue). Nel caso di trasmissione a pacchetti diverse componenti di un servizio trovano spazio nell'ambito di uno stesso sotto-canale in quanto è possibile creare un canale logico contraddistinto da un certo indirizzo di pacchetto. Inoltre all'interno di tale canale logico è possibile trasportare flussi provenienti da altrettanti fornitori di servizi distinguendoli per mezzo di un indirizzo secondario. I pacchetti hanno una lunghezza fissa e ci sono quattro possibili lunghezze di pacchetto in modo da ottimizzare il trasporto di applicazioni con esigenze differenti. All'interno di una trama si possono anche usare pacchetti di formati diversi tra loro purché il flusso complessivo sia un multiplo di 8 kbit/s.

4.4.4 *Multiplex di trasmissione*

Una volta composto il multiplex principale (MSC) contenente i dati relativi ai diversi servizi, occorre assegnare dinamicamente i simboli della trama alle diverse portanti (interleaving nel dominio della frequenza) e aggiungere i simboli per la sincronizzazione del ricevitore in modo da creare la trama di trasmissione e generare infine il segnale modulato OFDM. La trama di trasmissione è costituita da una sequenza di simboli OFDM in numero variabile a seconda del modo di trasmissione adottato.

All'ingresso del multiplex di trasmissione («*transmission frame multiplexer*» vedi figura 2) si può osservare che, oltre al canale principale dei servizi (MSC) prima descritto, viene applicato un ulteriore «canale per informazioni veloci» (FIC) che è il meccanismo di trasporto per una serie di dati «privilegiati». Esso viene denominato «veloce» in quanto i dati che esso trasporta non sono soggetti ad interleaving nel tempo: in questo modo in ricezione essi sono immediatamente disponibili per la decodifica e inoltre sono interpretabili anche da ricevitori semplificati. I dati «privilegiati» prima citati contengono, ad esempio, le informazioni relative alla configurazione di tutto il multiplex (Multiplex Configuration Information) e le informazioni sui servizi disponibili e la loro allocazione (Service Information) all'interno dei canali logici interni al multiplex. Questi dati sono essenziali per il funzionamento di ogni ricevitore in quanto quest'ultimo deve crearsi i puntatori corretti per estrarre dalla trama le CU relative al programma audio o i gli indirizzi di pacchetto inerenti ai servizi dati richiesti dall'utente. Per questo motivo le informazioni trasportate nel FIC sono protette da un codice convoluzionale con efficenza 1/3 e inoltre vengono ripetute di frequente in modo che il ricevitore possa avere immediato accesso ai servizi. Nel caso di una riconfigurazione del multiplex, per esempio da 6 a 4 programmi stereofonici, occorre trasmettere le relative informazioni in anticipo in modo tale che il ricevitore si predisponga alla commutazione senza pregiudicare la continuità dei servizi esistenti.

Inoltre è stato previsto che il canale FIC possa trasportare alcuni particolari servizi dati che, pur non richiedendo un'elevata capacità trasmissiva, devono essere decodificati anche da ricevitori semplici in modo diretto, senza dover accedere a tutto il multiplex di trasmissione. Un esempio è dato dai servizi analoghi a quelli supportati attualmente nel sistema RDS (Radiodata), come il paging (cercapersone) o il canale per messaggi sul traffico (TMC).

5. **Considerazioni sulla pianificazione**

5.1 SFN

L'allestimento di una rete a singola frequenza (SFN) è un obiettivo che l'introduzione del DAB può rendere raggiungibile. Come è noto i punti critici di una rete isofrequenziale sono le frange geografiche di copertura dei singoli trasmettitori, dove il campo del trasmettitore principale e quello del trasmettitore limitrofo sono il livello confrontabile e quindi possono combinarsi in modo distruttivo e dar luogo a dei nulli. Il problema è analogo a quello già citato degli echi, ma esacerbato dagli elevati ritardi. Il sistema DAB, se l'intervallo di guardia è dimensionato opportunamente, non soffre di questa situazione, anzi gode della «diversity spaziale» che si viene a creare dalla presenza di più raggi.

Come regola, l'intervallo di guardia τg deve soddisfare alla seguente relazione:

$$\tau g \leq d/c$$

dove d = distanza tra due trasmettitori e c = velocità della luce.

5.2 RAPPORTI DI PROTEZIONE DA E VERSO ALTRI SERVIZI

I valori qui discussi sono provvisori e saranno soggetti ad ulteriori verifiche, poiché, solo da poco tempo, sono stati resi disponibili a tutti i partner del consorzio EUREKA EU-147 gli apparati di terza generazione (banda 1.5 MHz). Inoltre tali valori sono eterogenei essendo risultato di misure effettuate da diversi enti di ricerca su apparati di diverse generazioni.

5.2.1 *Rapporti di protezione da e verso la MF*

I rapporti di protezione sono stati espressi in termini di potenza totale irradiata da un sistema DAB. Il sistema DAB utilizzato nei test preliminari ha un bit rate di 168 kbit/s per canale monofonico, una capacità di 33 canali monofonici ed un occupazione in banda di 7 MHz.

Interferenza DAB (sistema a 7 MHz) verso la MF

Il rapporto di protezione (r.d.p.) stimato per qualità 4,5 (disturbo appena percettibile) è 40 dB [3, 8], riferito alla potenza di rumore in una banda di 7 MHz. Se il risultato lo si vuole riferito ad un rumore equivalente nella banda di ricezione MF, ovvero 150 kHz, bisogna incrementare di 17 dB, quindi il r.d.p. è di 57 dB. Se si confronta il r.d.p. cocanale corrispondente alla raccomandazione CCIR 412 che è 45 dB, si nota che esiste una anomalia di comportamento. Questo è sostanzialmente dovuto alla differenza che esiste nel segnale di banda base trattato: il criterio di «appena percettibile» corrisponde a demodulare un rapporto segnale rumore di 60 dB per il DAB, mentre quello che viene considerato nella racc. CCIR 412 per la determinazione del r.d.p. è di 50 dB.

Interferenza MF verso DAB (sistema a 7 MHz)

Il rapporto di protezione per BER = 10^{-3} (che corrisponde alla soglia di udibilità degli errori, per il Musicam con «gap concealment» (vedi bibl. 1) è indicato nella Tabella che segue (vedi bibl. 7).

Caso	**C'/I**
CW Interference (caso più favorevole, coincidente con una portante OFDM)	-12
CW Interference (caso meno favorevole, tra due portanti OFDM)	-4
Interferenza MF, rumore colorato come raccomandazione CCIR 461	0

Dove: C' = potenza ricevuta per canale DAB stereo;
I = potenza di un singolo interferente MF.

Da prove su banco eseguite su un ricevitore OFDM risulta (vedi bibl. 1) che la soglia di percettibilità di un interferente CW cocanale è di 0 dB (rapporto C/I), ed è indipendente dalla frequenza e dalla potenza del segnale ricevuto, C.

5.2.2 *Rapporti di protezione da e verso il PAL*

A differenza del caso FM questi r.d.p. sono stati misurati recentemente con un sistema DAB avente una banda di 1.75 MHz. I rapporti di protezione sono sempre stati espressi in termini di potenza totale irradiata da un sistema DAB avente una capacità di 6 canali stereofonici.

Interferenza DAB (sistema a 1.75 MHz) verso il PAL

Sono ipotizzabili dei rapporti di protezione come segue (vedi bibl. 3):

limite di percettibilità	58 dB
interferenza continua	51 dB
interferenza troposferica	42 dB

L'interferenza causata sul video da un segnale DAB dipende comunque dalla posizione dello stesso, in special modo se il segnale DAB è a banda stretta.

Da recenti test portati avanti in contemporanea da BBC e IRT si può constatare la veridicità di questo fenomeno. A tal proposito vengono riportati i grafici dei r.d.p. in funzione della larghezza di banda del segnale interferente e della posizione rispetto la portante video (vedi bibl. 7).

Infine si noti che in talune bande il segnale TV viene irradiato in polarizzazione orizzontale (es.: banda III); il segnale DAB invece deve venire irradiato in polarizzazione verticale poiché risulta più facile realizzare antenne riceventi omnidirezionali. Si può considerare in questi casi una protezione «gratuita» di circa 16 dB (vedi bibl. 6);

Interferenza PAL verso il DAB (sistema a 1,5 MHz)

Dato che la larghezza di banda del sistema DAB è inferiore all'occupazione di banda del signale televisivo, il rapporto di protezione (cocanale) dipenderà molto dalla posizione del blocco DAB con il canale video. Si possono verificare i seguenti 5 casi:

— Portante video nel blocco DAB
— Portante audio analogica nel blocco DAB
— Due portanti audio analogiche nel blocco DAB (Pal norma G)
— Portante audio analogica e numerica NICAM nel blocco DAB
— Nessuna portante nel blocco DAB

Nella maggior parte dei casi l'energia del segnale interferente sarà prodotta dalle bande laterali del segnale video, per cui può essere conveniente considerare questo caso per primo.

Le bande laterali video, considerate senza la presenza delle portanti audio o video, si possono considerare nella banda DAB come rumore equivalente. Dato che il C/N della modulazione adottata per il DAB è 10 dB e che il livello delle bande laterali del segnale video non eccede -20 dB relativi alla portante video, si può estrapolare il rapporto di protezione DAB su PAL come -10 dB riferite alla portante video.

Per quanto riguarda le altre trattazioni sui r.d.p. ci si può riferire a quanto trattato in bibliografia 7.

(4113)

BIBLIOGRAFIA

1. - *DAB experimentation and planning in CANADA*, «EBU Technical» n. 246, 4/91.
2. - *Satellite sound broadcasting with portable receivers and receivers in automobiles*, «Report 955-1, CCIR 5/91».
3. - *Report on work toward a recommendation: Digital sound broadcasting to mobile, portable and fixed receivers using terristrial transmitters*, «CCIR study group, 9/91».
4. - *Propagation measurements at 1500 MHz for digital sound broadcasting effect of channel bandwidth*, Canada, «CCIR study group, 5/91».
5. - *DAB: the first UK field trial*, «BBC Research Dept.», 2/91.
6. - *Nutzungsbeschrankungen fur eine digitale Horfunkubertragung (DAB) in Fersehkanal 12 in Deustchland*, «IRT Technischer Beright N.B122», RI/DIG 037, 1991.
7. - *Service planning for terrestrial Digital Audio Broadcasting*, «EBU Technical Review» No. 252 Summer 1992.

RETI DI DISTRIBUZIONE IN FIBRA OTTICA IN TECNICA SCM PER SEGNALI HDTV NUMERICI

V. SARDELLA*

SOMMARIO — Nell'ambito della ricerca riguardante la trasmissione su fibra ottica di segnali numerici HDTV (High Definition TeleVision) ad elevata compressione di banda, viene presa in esame la rete per la distribuzione agli utenti di tali segnali. Dopo aver individuato nella rete ottica passiva (PON: Passive Optical Network) la forma di rete che è particolarmente adatta per questo tipo di applicazioni, viene esaminata la tecnica di multiplazione SCM (SubCarrier Multiplexing). Successivamente sono affrontati dal punto di vista teorico i problemi relativi alla trasmissione di un segnale SCM su un collegamento in fibra ottica. Viene analizzata l'influenza del rumore, della non linearità dei dispositivi e della profondità di modulazione della potenza ottica sulle prestazioni della rete in relazione al numero di canali trasmessi ed al numero di utenti che è possibile servire con un solo trasmettitore. Sono infine presentati i risultati di alcune misure su sistemi sperimentali che simulano in laboratorio alcune reti di distribuzione in fibra ottica monomodale con modulazioni QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying) e velocità di cifra di 17 e 70 Mbit/s. Su queste reti sono state fatte misure di tasso d'errore al fine sia di dimensionarle, stabilendo il numero di utenti che è possibile servire, sia di verificarne la fattibilità e le prestazioni. Per il segnale QPSK 70 Mbit/s la rete ottica è stata dimensionata e caratterizzata ponendola in cascata al collegamento via satellite Olumpus a 30/20 GHz; è stato quindi inviato sul collegamento complessivo un segnale televisivo ad alta definizione tramite i codec HDTV EU256.

*SUMMARY — **HDTV Distribution on Passive Optical Networks using the SCM technique.** In the framework of the studies relevant to the transmission by optical fibres of digital HDTV signals with high bandwidth compression, the network for the signal distribution to the users is examined. The SCM (Sub-Carrier Multiplexing) technique is particularly appropriate for such a type of applications and Passive Optical Networks (PONs) are well suited for point-to-multipoint video transmission and distribution. The problems relative to the transmission of an SCM signal on a fiber optic link are faced from a theoretical viewpoint. The paper examines the influence of noise, of the device non-linearities, and of the optical modulation index as regards the network performance according to the number of transmitted channels and to the number of users who can be served with one transmitter. Finally, a presentation is given of the results of some measurements carried out on experimental systems laboratory-simulating a monomodal fiber optical distribution network with QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying) modulation and bit-rate of 17 and 70 Mbit/s. Error-rate measurements were carried out on these networks both in order to size them, by establishing the number of users who can be served and to verify their feasibility and performance. As regards the QPSK 70 Mbit/s signal, the optical network was sized and characterized cascading it to the 30/20 GHz Olympus satellite link. Afterwards a HDTV signal was sent through the overall link using the HDTV EU256 codecs.*

1. Introduzione

Le fibre ottiche sono il mezzo ideale per la trasmissione di segnali ad elevatissimo contenuto informativo, quali i segnali televisivi ad alta definizione. Infatti, grazie soprattutto alla grande banda passante disponibile, possono garantire la massima qualità di trasmissione.

Reti in fibra ottica per la trasmissione di segnali televisivi convenzionali sono da anni presenti in RAI (bibl. 1) e più recentemente, fin dai primi esperimenti di trasmissione di segnali HDTV (High Definition TeleVision), lo studio è stato rivolto al trasferimento tramite fibre ottiche di segnali televisivi ad alta definizione con tecniche numeriche e analogiche (bibl. 2), prendendo in considerazione sia collegamenti di tipo punto-punto che collegamenti di tipo diffusivo. Nell'ambito del Progetto Finalizzato Telecomunicazioni del CNR (Sottoprogetto 1 «Struttura della rete di comunicazione a larga banda») è stata ipotizzata una rete in fibra ottica che copra tutta o parte della eventuale rete di diffusione in cavo che potrebbe raggiungere l'utente finale.

Nei paesi in cui sono diffuse le reti di TV via cavo (CATV), le fibre ottiche sono state utilizzate soprattutto nei collegamenti di tronco (a tal proposito è stato coniato il termine «fiber backbone» - bibl. 3 e 4) con lo scopo di bypassare lunghi collegamenti in cavo coassiale che necessitano di un elevato numero di amplificatori a larga banda in cascata.

Ai tradizionali vantaggi della trasmissione in fibra ottica (bassa attenuazione del mezzo trasmissivo, elevata banda passante, immunità a disturbi e interferenze) si sono aggiunti negli anni più recenti quelli di un miglioramento delle caratteristiche dei convertitori elettro-ottici nei confronti del rumore e della distorsione. Questo ha permesso di utilizzare, nelle reti CATV, la tecnica di modulazione AM/FDM (Amplitude Modulation - Frequency Division Multiplexing) per una completa compatibilità con gli apparati video d'utente. Recenti applicazioni hanno verificato la possibilità di trasmettere fino ad 80 canali modulati in ampiezza su una distanza di 20 km (bibl. 5).

* Ing. Vincenzo Sardella del Centro Ricerche RAI - Torino.
Il lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto Finalizzato Telecomunicazioni del CNR.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 27 maggio 1993.

Il risultato dell'introduzione di queste reti in fibra ottica è stato quello di portare sempre più vicino all'utente segnali di elevata qualità. Parallelamente a questa evoluzione anche le compagnie telefoniche hanno perseguito l'obiettivo di portare la fibra ottica sempre più nei pressi dell'utente (bibl. 6 e 7). Una volta installata, la fibra ottica monomodale permette una crescita virtualmente illimitata nei nuovi servizi e dovrebbe portare ad una struttura integrata di telecomunicazioni sia a livello nazionale che internazionale (B-ISDN: Broadband Integrated Services Digital Network).

Il concetto di introdurre le fibre ottiche nella rete d'utente (FITL: Fiber In The Loop) è stato negli anni passati legato all'introduzione della rete integrata a larga banda, mentre più recentemente è stata sviluppata l'alternativa di introdurre le fibre inizialmente per gli ordinari servizi telefonici attualmente esistenti sulla rete in rame e di passare successivamente ai servizi a larga banda quando ce ne sarà la richiesta (bibl. 8).

L'elevata quantità di informazione insita in un segnale HDTV determina una grande occupazione spettrale da parte del segnale in banda base (circa 30 MHz per il segnale di luminanza e 15 MHz per le due componenti di crominanza), la cui rappresentazione numerica PCM (Pulse Code Modulation) richiederebbe un bit-rate superiore a 1 Gbit/s.

Sofisticate tecniche di compressione digitale dell'informazione consentono di diminuire la velocità di cifra eliminando informazioni che l'occhio non è in grado di percepire e riducendo la ridondanza presente sia all'interno della singola immagine che tra immagini successive. Un segnale di qualità prossima a quella di studio e sufficiente per alcune operazioni di post-produzione può così essere ottenuto con bit-rate compresi tra 70 e 140 Mbit/s. Nel caso invece di segnali televisivi distribuiti all'utente può essere accettata una compressione maggiore, e quindi una minore occupazione di banda, operando con frequenze di cifra comprese tra 30 e 70 Mbit/s. Questi valori includono il video, l'audio (in genere multicanale e ad alta fedeltà), dati addizionali (es. televideo) ed i bit di ridondanza introdotti dal codice per la correzione degli errori (bibl. 9).

Per quanto riguarda il tasso d'errore sul bit (BER) accettabile, ci si pone l'obiettivo di avere, nel caso peggiore, un solo errore non corretto e quindi visualizzato sullo schermo ogni ora di trasmissione. Alle frequenze di cifra considerate, questo significa un tasso d'errore compreso tra 10^{-10} e 10^{-11}. Assumendo poi che il codec HDTV faccia uso di un codice di Reed-Solomon (255, 239) per la correzione degli errori, un tasso d'errore residuo sull'immagine compreso tra 10^{-9} e 10^{-11} viene ottenuto con un BER prima del decodificatore di circa $2 \cdot 10^{-4}$, mentre per valori superiori a $8 \cdot 10^{-4}$ si verifica l'interruzione del servizio (bibl. 10). I valori di tasso d'errore sul bit da tenere presente nel progetto della rete andranno quindi da 10^{-4} a 10^{-10}.

Per la distribuzione agli utenti di segnali numerici HDTV si possono ipotizzare le seguenti soluzioni:

1) rete in fibra ottica che parte da una stazione di testa (che può essere una stazione centralizzata di ricezione da satellite) e giunge direttamente agli utenti (architettura FTTH: Fiber To The Home);
2) rete in fibra ottica che giunge fino ai centralini condominiali con distribuzione all'interno del condominio in cavo coassiale (architettura FTTB: fibre To The Building);
3) rete di distribuzione solo in cavo coassiale da utilizzarsi quando la stazione ricevente da satellite è a livello condominiale.

In questo articolo verrà presa in considerazione sia la singola rete in fibra ottica che la stessa rete posta in cascata da un collegamento via satellite. Saranno affrontati dal punto di vista teorico e sperimentale i problemi relativi alla trasmissione dei segnali su un collegamento in fibra ottica. Sarà analizzata l'influenza del rumore, della non linearità dei dispositivi e della profondità di modulazione della potenza ottica sulle prestazioni della rete in relazione al numero di canali trasmessi ed al numero di utenti che è possibile servire con un solo trasmettitore.

Si presenteranno infine i risultati di alcune misure su sistemi sperimentali che simulano in laboratorio alcune reti di distribuzione in fibra ottica monomodale con modulazione QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying) e velocità di cifra di 17 Mbit/s e 70 Mbit/s. In un successivo articolo su questa rivista verrà presentato il lavoro di simulazione della rete effettuato tramite il pacchetto applicativo «Topsim IV» del Politecnico di Torino. I risultati delle simulazioni consentono un immediato dimensionamento della rete in termini di numero di utenti che possono essere serviti e di distanze raggiungibili per i vari schemi di modulazione e le varie topologie della rete.

2. Reti ottiche passive

La forma di rete che è particolarmente adatta sia per i servizi telefonici che per gli sviluppi futuri a larga banda è la rete ottica passiva (PON: Passive Optical Network), che utilizza divisori di potenza ottica passivi invece di dispositivi attivi nei nodi della rete (bibl. 8). Il segnale ottico generato dal laser viene ripartito tra i vari utenti e l'elevato bilancio di potenza che consentirebbe di coprire notevoli distanze in un collegamento punto a punto viene in queste reti utilizzato per sopperire alle perdite di potenza di un certo numero di divisioni del segnale a livello ottico. Parte della rete e dei componenti attivi viene in questo modo condiviso tra un gran numero di utenti.

La rete ottica passiva è una rete di tipo diffusivo, cioè tutti gli utenti ricevono tutti i segnali emessi alla sorgente. Questo tipo di rete si adatta bene a servizi di tipo CATV, mentre per quelli interattivi c'è la necessità di usare schemi TDM (Time Division Multiplexing) e protocolli TDMA (Time Division Multiple Access). I due diversi servizi possono coesistere nella stessa rete utilizzando la multiplazione a lunghezza d'onda (WDM: Wavelenght Division Multiplexing) (bibl. 11 e 12). Per mezzo di questa tecnica è possibile mescolare sulla stessa fibra (e successivamente separare), tramite dispositivi completamente passivi, segnali a lunghezze d'onda diverse. La multiplazione avviene a livello ottico ed è quindi indipendente dal tipo di segnali (analogici o numerici) che transitano sul collegamento. (vedi figura 1)

La rete ottica passiva realizzata con componenti monomodali si presta a future espansioni in quanto può evolvere sia verso nuovi servizi che verso dimensioni geografiche maggiori. L'introduzione di nuovi servizi può essere ottenuta aumentando il numero di lunghezze d'onda inviate

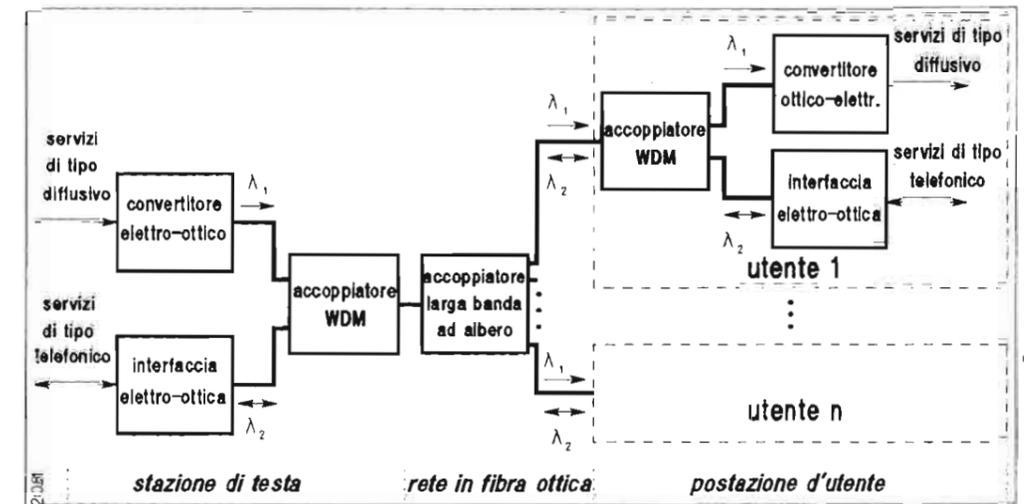



Fig. 1 — Rete ottica passiva (per servizi di tipo diffusivo e telefonico: i due servizi coesistono sulla stessa rete per mezzo della tecnica WDM).

sulla rete mentre l'impiego di amplificatori ottici può consentire di recuperare le perdite associate ad un numero elevato di divisioni di potenza o a distanze maggiori (bibl. 13).

L'impiego, a più lungo termine, delle tecniche coerenti permetterà di sfruttare in modo più efficace l'enorme banda che è disponibile nelle attuali fibre ottiche monomodali (~ 20 THz) rendendo possibile la multiplazione nel campo delle frequenze ottiche (OFDM: Optical Frequency Division Multiplexing) e l'adozione a livello ottico di schemi a eterodina o ad omodina tipici della trasmissione radio (bibl. 14 e 15).

3. Tecnica di multiplazione

La trasmissione di segnali numerici in banda base è stata ed è quella più utilizzata nei sistemi di comunicazione su fibre ottiche. Tuttavia, in questi ultimi anni, grazie ai miglioramenti delle caratteristiche di linearità e di rumore dei laser, si è andato affermando, soprattutto nei collegamenti per CATV, l'uso della tecnica di multiplazione SCM (SubCarrier Multiplexing) che consiste nell'inviare alla sorgente ottica, come segnale che la modula in intensità, un multiplex di frequenza formato da un certo numero di sottoportanti a loro volta modulate dai canali che si desidera trasmettere (vedi figura 2) (bibl. 16). Al ricevitore, dopo la fotorivelazione, la separazione delle diverse sottoportanti viene effettuata tramite le operazioni convenzionali di conversione di frequenza e filtraggio.

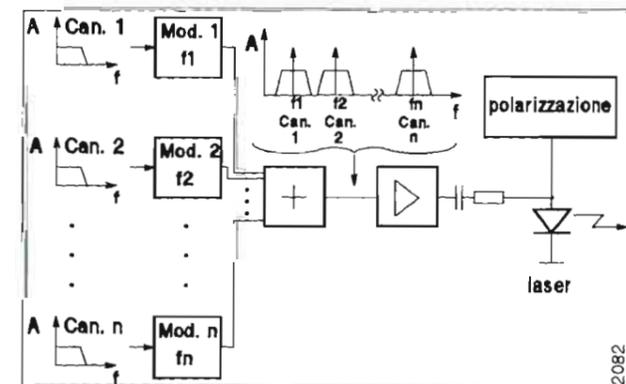



Fig. 2 — La tecnica SCM (SubCarrier Multiplexing).

La tecnica SCM si rivela, per applicazioni a larga banda, più economica e più versatile della multiplazione a divisione di tempo (TDM: Time Division Multiplexing). Essa utilizza, infatti, componenti tradizionali e radiofrequenza e microonde ed è un primo modo per esplorare la elevata larghezza di banda offerta dalle fibre ottiche monomodali e dai componenti elettro-ottici. L'elevata velocità di cifra insita nei sistemi TDM con un gran numero di segnali televisivi comporta una non trascurabile complessità del ricevitore che deve avere accesso all'intera banda trasmessa, mentre, per i sistemi SCM, la demultiplazione avviene con circuiti a banda stretta (bibl. 17).

I sistemi basati sulla tecnica SCM possono supportare contemporaneamente modulazioni analogiche e numeriche delle sottoportanti e possono evolvere sia per quanto riguarda la qualità del segnale fornito all'utente (seguendo i cambiamenti nella tecnologia video e nelle tecniche di compressione numerica dell'informazione), che per quanto concerne l'offerta di nuovi canali (ottenuta semplicemente con l'aggiunta di nuove sottoportanti modulate e senza dispendiose modifiche della parte elettronica) (bibl. 5). Le velocità di cifra, gli schemi di modulazione e la canalizzazione possono essere scelti in modo compatibile con quelli che si stanno studiando per la diffusione dei segnali televisivi in forma numerica, via etere e tramite reti in cavo coassiale, in modo che il ricevitore d'utente possa indifferentemente accedere ai diversi mezzi trasmissivi (bibl. 9).

La flessibilità della tecnica SCM permette una ulteriore evoluzione verso reti ad ancora più larga banda tramite la multiplazione di lunghezza d'onda (WDM) e, successivamente, tramite la rivelazione coerente (C-SCM: Coherent Sub-Carrier Multiplexing) che offrirà, oltre allo sfruttamento della grande banda disponibile, anche un notevole miglioramento in termini di sensibilità del ricevitore consentendo reti di maggiore estensione e con un maggior numero di utenti (bibl. 18).

La tecnica SCM ha, però, alcuni svantaggi; essendo di tipo analogico è particolarmente sensibile ai problemi di

rumore e di linearità in quanto diverse sottoportanti sono trasmesse per mezzo di una sola sorgente ottica che può far nascere distorsioni armoniche e prodotti di intermodulazione tra i segnali. Inoltre essa richiede, per la trasmissione di sottoportanti modulate numericamente, una maggior larghezza di banda rispetto alle tecniche TDM.

In ogni caso, come si vedrà in seguito, i requisiti di linearità e rapporto segnale/rumore possono essere soddisfatti e, utilizzando modulazioni numeriche delle sottoportanti, è possibile strutturare un sistema di distribuzione di segnali televisivi ad alta definizione su una rete ottica passiva. La stessa rete sarà in grado, in futuro, di evolvere verso sistemi completamente numerici, quando i diminuiti costi dei sistemi ad elevata frequenza di cifra permetteranno la distribuzione all'utente di segnali numerici.

Analisi sui limiti dei sistemi di trasmissione su fibre ottiche che utilizzano la tecnica SCM sono stati fatti recentemente nel caso di modulazioni AM-VSB (Amplitude Modulation - Vestigial Side-Band) e FM (Frequency Modulation) delle sottoportanti (bibl. 19, 20, 21, 22). Altri studi hanno preso in considerazione la trasmissione di canali televisivi con la tecnica SCM (bibl. 23, 24, 25, 26, 27, 28). In questo articolo verrà esaminato un collegamento in fibra ottica monomodale su sui viene trasmesso un multiplex SCM con modulazione numerica (QPSK) delle sottoportanti.

4. Trasmissione di un segnale SCM su un collegamento in fibra ottica

Il segnale a radiofrequenza, contenente i vari canali da trasmettere, viene inviato a modulare la corrente del laser dando origine ad una modulazione di intensità della potenza ottica tramite la funzione di trasferimento Potenza-Corrente del laser (vedi figura 3a). Dopo essere transitato sul collegamento ottico il segnale giunge al ricevitore dove viene riconvertito a livello elettrico da un fotodiodo la cui corrente d'uscita è proporzionale alla potenza ottica incidente. Si parla in questo caso di modulazione di intensità e rivelazione diretta (IM/DD: Intensity Modulation/Direct Detection).

Tutti questi processi peggiorano le caratteristiche del segnale nei riguardi delle distorsioni e del rapporto segnale-rumore. In questo paragrafo viene dato un accenno ai meccanismi di generazione del rumore e delle distorsioni. Successivamente verrà quantizzata e studiata in dettaglio la degradazione provocata sui segnali.

4.1 RUMORE

In un collegamento in fibra ottica monomodale sono tre i contributi principali di rumore (bibl. 4):

a) Rumore di intensità della sorgente: è il rumore intrinseco alla sorgente ottica dovuto a fenomeni di natura quantistica. Viene quantificato per mezzo del Relative Intensity Noise (*RIN*) definito come:

$$RIN = \frac{<|\delta P(\omega)|^2>}{P_0^2} \qquad (Hz^{-1})$$

$\delta P(\omega)$ = densità spettrale delle fluttuazioni di potenza;
P_0 = Potenza media di emissione del laser.

Convenzionalmente il *RIN* viene espresso in dB/Hz, secondo la seguente formula:

$$RIN\ (dB/Hz) = 10 \log RIN\ (1/Hz)$$

In questo caso, per ottenere il *RIN* in una data larghezza di banda B bisogna moltiplicare il valore in dB-Hz per 10 log B e non per B.

Con le attuali strutture dei laser a reazione distribuita (DFB: Distributed FeedBack) si ottengono valori di *RIN* migliori di -140 dB/Hz. Il *RIN* del laser può aumentare se parte della potenza ottica emessa viene rimandata all'interno della cavità laser da discontinuità presenti lungo il collegamento. Il comportamento dei laser DFB in presenza di riflessioni ottiche esterne è stato in precedenza analizzato sia in via teorica che sperimentale (bibl. 29).

b) Rumore di rivelazione o Shot noise dovuto ai processi statistici che governano la conversione della luce in corrente elettrica effettuata dal fotorivelatore. Il valor quadratico medio della corrente associata a questo contributo di rumore è:

$$<I_{sn}^2> 2 \cdot e \cdot B \cdot R \cdot P_r$$

dove:

e = carica dell'elettrone;
B = banda equivalente di rumore;
R = responsività del fotodiodo (A/W) definita come il rapporto tra potenza media incidente (P_r) e corrente generata;
P_r = valor medio della potenza incidente sul fotorivelatore.

La formula riportata vale nel caso di fotorivelatore a diodo pin, in cui la corrente generata da ogni fotone incidente non subisce una ulteriore moltiplicazione, come avviene invece per i fotorivelatori a valanga (APD: Avalanche PhotoDiodes). Questi dispositivi hanno un guadagno interno dovuto al processo di moltiplicazione che si instaura ad opera dell'elevato campo elettrico generato dalla tensione di polarizzazione inversa applicata alla giunzione. In questo caso il valor quadratico medio della corrente di rumore diventa:

$$<I_{sn}^2> = 2 \cdot e \cdot B \cdot R \cdot P_r \cdot M^2 \cdot F_a$$

dove, rispetto alla precedente formula, i termini che tengono conto del processo di moltiplicazione sono:

M = guadagno interno del fotodiodo;

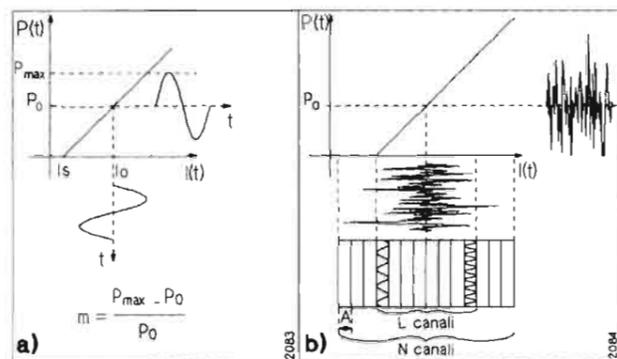



Fig. 3 — Indice di modulazione della potenza ottica
a) un solo segnale sinusoidale
b) sovramodulazione con segnale SCM.

N. 28

REGIA ACCADEMIA NAVALE - LIVORNO

:: :: Pubblicazioni dell'ISTITUTO ELETTROTECNICO e RADIOTELEGRAFICO della R. Marina :: ::

G. VALLAURI

Il centro radiotelegrafico di Coltano

Supplemento di ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI N. 3 - DICEMBRE 1993

Il centro radiotelegrafico di Coltano

1. Cenno storico — 2. Disposizione dei fabbricati — 3. Fabbricato principale — 4. Alimentazione di energia — 5. Schema elettrico principale — 6. Convertitori ad arco — 7. Induttanza di antenna e sistema di manipolazione — 8. Alternatore ad alta frequenza — 9. Distribuzione dei locali della nuova Radio — 10. — Impianto idraulico — 11. Sala telegrafica e sale di manipolazione — 12. Antenna — 13. Piloni di 250 m. — 14. Presa di terra — 15. Funzionamento del sistema irradiante — 16. Stazioni minori — 17. Abitazioni ed altri fabbricati — 18. Centro ricevente — 19. Servizio radio — 20. Conclusione.

1. - *Cenno storico.*

La stazione radio di Coltano fu la prima grande stazione italiana, e una delle primissime nel mondo. La località, a 10 km a sud di Pisa e a 15 km a nord-est di Livorno, fu indicata da G. Marconi a S. M. il Re, il quale concesse gratuitamente l'uso di una parte del terreno della tenuta di Coltano, allora appartenente alla Casa Reale e più tardi ceduta all'Opera Nazionale dei Combattenti. Il terreno pianeggiante e acquitrinoso di quella zona fu allora giudicato particolarmente adatto per l'impianto di una grande stazione. Il lavoro fu affidato dall'Amministrazione dei Telegrafi alla Compagnia Marconi, e per effetto di difficoltà tecniche e burocratiche si trascinò dal 1903 al 1911, quando, appena iniziatasi la guerra libica, la R. Marina assunse il servizio della stazione e la mise in effettivo esercizio.

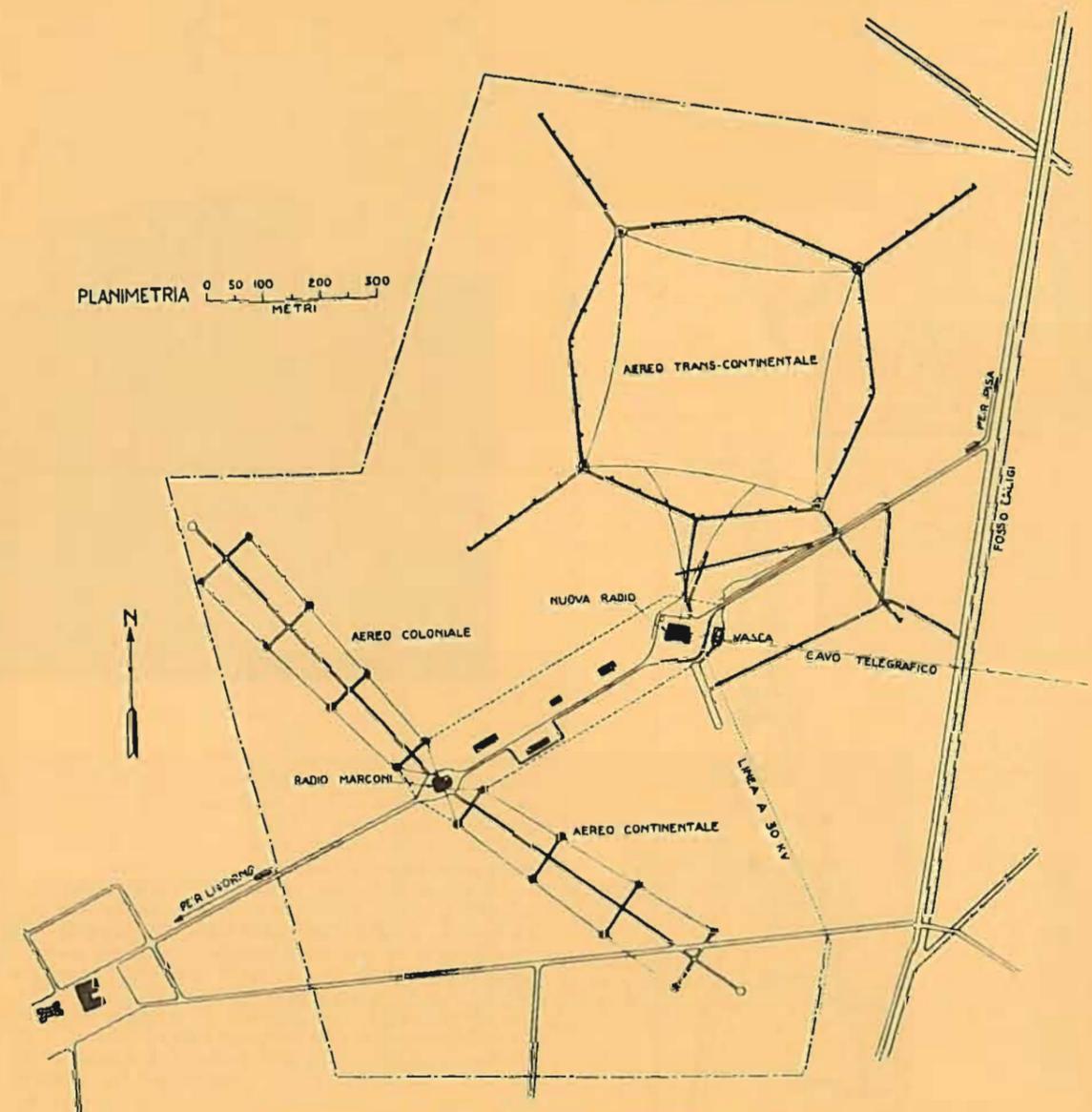



Fig. 1. — Pianta generale del centro radiotelegrafico di Coltano.

Durante la guerra mondiale, per assicurare un buon servizio con le colonie del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano e per stabilire un

1. - Stazione Continentale e Stazione Coloniale
2. - Casermetta
3. - Garage e Magazzino
4. - Alloggi Sott'ufficiali
5. - » Ufficiali
6. - Stazione Trans-Continentale
7. - Antenna della Stazione Coloniale
8. - » » » Continentale
9. - » » » Trans-Continentale

Fig. 2. — Vista prospettica approssimativa del centro radiotelegrafico di Coltano.

primo collegamento con il Nord America, la R. Marina costruì la Radio Roma (S. Paolo) [1] e, sulla base dell'esperienza ivi raccolta e di una razionale previsione del futuro sviluppo delle radiocomunicazioni, decise, dopo la guerra, di provvedere all'impianto di una più potente stazione, capace di svolgere servizio commerciale con il Nord America (indipendentemente da altri servizi, permanenti od eventuali, di importanza militare e politica) e suscettibile di ulteriori ampliamenti e perfezionamenti in accordo con le esigenze del traffico e con lo sviluppo della tecnica.

Fu stabilito di eseguire il nuovo impianto a Coltano e di coordinarlo con la trasformazione ed il rimodernamento della vecchia stazione, e ciò per obbedire a parecchie ragioni concordi, fra cui giova citare le più importanti: 1) la munificenza del Sovrano concesse subito l'uso di un altro notevole tratto di terreno; 2) la posizione di Coltano, all'incirca equidistante dalla capitale e dalla grande zona industriale del Nord Italia permetteva di contare su buoni collegamenti telegrafici coi centri più importanti; 3) l'esistenza della vecchia stazione e la possibilità di trasformarla e di utilizzarla per le medie distanze offrivano il modo di creare a Coltano un moderno centro

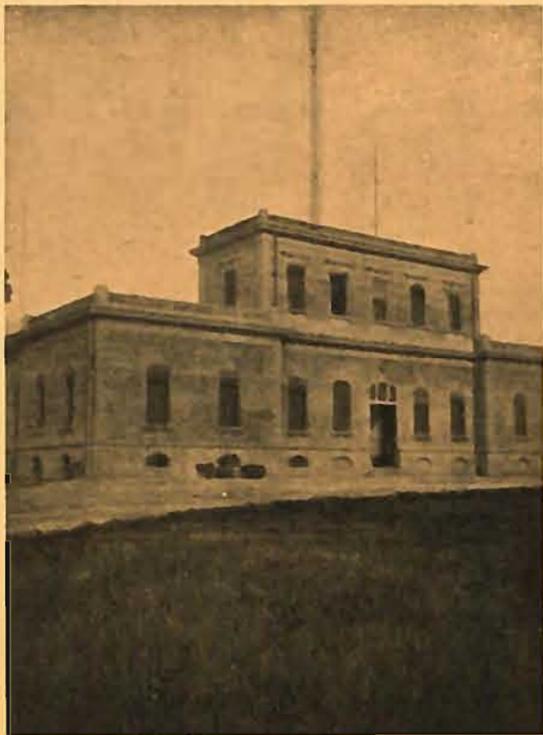



Fig. 3. — Fabbricato principale.

radio, capace di sfruttare tutti gli evidenti vantaggi tecnici ed economici di una riunione dei servizi inerenti a più linee; 4) la vicinanza dell'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina, sorto pochi anni prima presso la R. Accademia Navale, consentiva di provvedere al progetto e alla direzione dei lavori e del servizio in modo conveniente e senza alcuna spesa per tale capitolo.

Il grosso delle opere murarie per il nuovo impianto fu eseguito nel 1920-21, e nel 1922 si procedette al montamento dei piloni e alla sistemazione dei macchinari, delle linee, degli apparati. I giorni 10, 11 e 12 aprile 1923, la nuova stazione compieva felicemente le prime prove di trasmissione ed il 15 aprile cominciava regolarmente il suo servizio, che non è più stato interrotto.

Intanto, fin dall'inizio del 1923, ed in seguito alle nuove disposizioni legislative riguardanti i servizi radio, il Governo, e per esso il Ministero delle Poste e Telegrafi, iniziava trattative per la cessione di tali servizi all'esercizio privato, comprendendo fra gl'impianti da cedere anche il centro di Coltano, allo stato in cui allora si trovava. Nelle more delle decisioni al riguardo l'Amministrazione della R. Marina, nell'interesse dell'erario, ed anche per lasciar libera al concessionario la possibilità di seguire un'indirizzo tecnico diverso da quello

[1] *L'Elettrotecnica*, 5-15 maggio 1920, Vol. VII, N. 13-14, pag. 218 e 241, e Pubblicazione dell'Istituto E. e R. T., N. 8.

fin allora seguito, sospendeva i lavori di completamento e di sistemazione del centro di Coltano, già predisposti per il 1923 e che avrebbero dovuto dare all'impianto, entro l'anno, il suo assetto definitivo.

Fig. 4. — Pianta della Nuova Radio.

Per questo motivo le installazioni si presentano oggi, alla vigilia del passaggio alla Società concessionaria, in una veste assai meno perfetta di quella che avrebbero dovuto avere, poichè, mentre nelle linee essenziali il lavoro è compiuto e lo prova il servizio che esso svolge ininterrottamente dall'aprile, molte parti secondarie sono tuttavia rimaste in una condizione che rivela chiaramente la soluzione provvisoria e di ripiego. Per lo stesso motivo, nella descrizione che qui si è voluta tratteggiare del Centro di Coltano, il lettore troverà qua e là un accenno a quello che l'impianto avrebbe dovuto essere secondo il progetto, in luogo di quello che esso è ora effettivamente

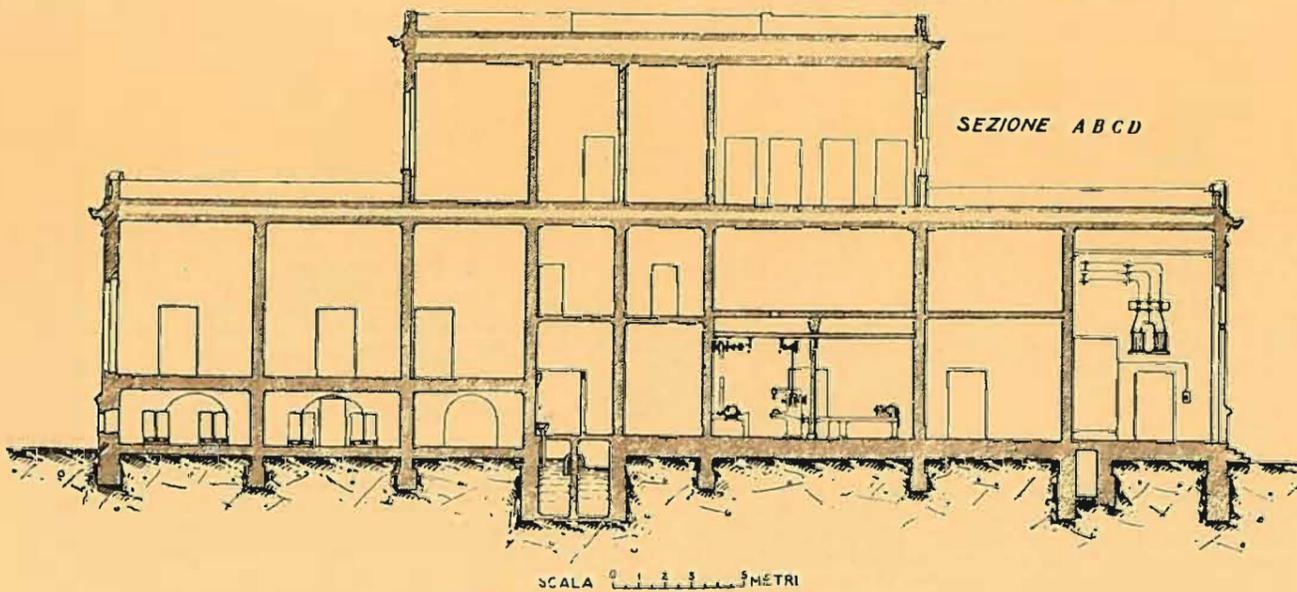



Fig. 5. — Sezione ABCD della Nuova Radio.

2. - *Disposizione dei fabbricati.*

L'insieme del Centro di Coltano risulta dalla pianta in fig. 1 e dalla vista prospettica approssimativa della fig. 2. L'insieme dei fab-

bricati è distribuito sul dorso di una piccola duna (detta il poggio di Corniolo), che emerge dalla circostante palude. L'asse della duna è diretto all'incirca da libeccio a grecale e su di esso è stata costruita una strada rotabile, che si prolunga da un lato fino ai così detti Palazzi di Coltano, centro della estesa tenuta (ceduta da S. M. il Re all'Opera Nazionale dei Combattenti, che ne ha intrapreso la grandiosa bonifica) e dall'altro fino alla strada alzaia del fosso Caligi, la quale, attraverso le borgate delle Rene e di Ospedaletto, conduce a Pisa.

Fig. 6. — Sezione EFGH, della Nuova Radio.

La vecchia stazione marconiana sorge all'estremo di sud-ovest della duna ed era completata un tempo da alcune modeste tettoie e da baracche ad uso di magazzini; il personale veniva alloggiato in locali presi in affitto dalla Casa Reale presso i Palazzi. Deciso l'impianto della nuova stazione, fu necessario progettare per essa un apposito fabbricato e si dimostrò opportuno di costruirlo a parte sull'altro estremo della duna a circa mezzo chilometro dall'antico, perchè questo mal si prestava ad un ampliamento, e, data la disponibilità del terreno concesso, risultava all'incirca obbligata la posizione del nuovo padiglione aereo. Conveniva altresì che quest'ultimo non fosse troppo vicino a quello preesistente al fine di permettere il funzionamento indipendente e simultaneo delle antenne, senza bisogno di speciali dispositivi di compensazione o altri artifici. Le due stazioni radio, poste all'incirca agli estremi del tratto sopraelevato del Poggio di Corniolo, delimitano così il nucleo principale dell'impianto. Esso è chiuso da un recinto in rete metallica ed è percorso da una strada centrale (che dovrebbe, insieme col prolungamento delle due strade di accesso, diventare un bel viale di tigli), lungo la quale si allineano i fabbricati di abitazione e di servizio.

3. - *Fabbricato principale.*

La nuova stazione, o stazione transcontinentale, ha sede nel fabbricato appositamente costruito (fig. 3), che contiene anche la cabina di trasformazione principale, l'ufficio telegrafico e gli uffici radio di tutto il centro. È un fabbricato a pianta rettangolare di m 43 × 29, con due corpi avanzati; la costruzione è in muratura ordinaria ed in cemento armato. Il fabbricato apparisce esteriormente ad un solo piano (coperto da una grande terrazza), salvo che nella parte centrale anteriore, la quale comprende un secondo piano su un fronte di 20 m con profondità di 8 m. La facciata ed i fianchi dei due corpi avanzati, sono in laterizi a faccia vista con uno zoccolo in pietra e decorazioni in cemento; la parte posteriore è ad intonaco.

La disposizione generale dei locali risulta dalla pianta (fig. 4): il fabbricato è diviso in due parti da un ampio corridoio centrale, a cui si accede dall'ingresso; la parte anteriore è riservata agli uffici, alla sala per esperimenti e conferenze, all'officina meccanica, al magazzino ed alla cabina di trasformazione principale. La parte posteriore, che è la più ampia, comprende i saloni dei macchinari e degli apparati di trasmissione. L'utilizzazione dei locali nel senso dell'altezza si rileva dalle sezioni A B C D ed E F G H (fig. 5 e 6).

Fig. 7. — Schema elettrico principale.

4. - *Alimentazione di energia.*

Per l'impianto elettrico fu esaminato innanzi tutto il problema della produzione di energia. Il servizio radio esige che questa sia a disposizione con perfetta continuità: perciò, sotto tale punto di vista, converrebbe senz'altro disporre di una centrale propria di produzione.

Se si procede per questa via, è forse preferibile, nei riguardi delle spese di esercizio, servirsi effettivamente e continuamente della centrale propria, piuttosto che tenerla come impianto di riserva rispetto alla fornitura di energia da parte di una società elettrica. D'altro canto l'energia acquistata presso un fornitore è assai meno sicura e meno ben regolata, ma anche, in generale, più a buon prezzo. Per ragioni essenzialmente economiche e tenuto anche conto dell'incertezza sulla sorte definitiva dell'impianto, si prescelse l'alimentazione diretta da parte della società esercente, che distribuisce energia elettrica in tutta la zona. Ad ogni modo anche la riserva termica fu a suo tempo studiata e doveva costituirsi, almeno inizialmente, con un motore Diesel marino da 1200 HP, nuovo e disponibile presso il R. Arsenale di Spezia in seguito alle vicende di guerra. Di esso erasi già costruita l'intelaiatura di sostegno, necessaria per la sua sistemazione su basamento di calcestruzzo e per l'accoppiamento con un alternatore trifase a 5000 V, 50 periodi, 428 giri. Sospesa tempestivamente questa installazione, l'impianto è per ora rimasto alimentato soltanto dalla rete della società esercente.

Fig. 7-bis. — Gruppi convertitori e quadro a 5000 V della sala macchine.

Coltano si trova, a questo riguardo, entro una grande maglia delle linee a 30-35 kV della Società Ligure Toscana di Elettricità e la cabina più prossima è quella di Stagno, verso cui concorre sia la linea principale Serchio-Lucca-Pisa-Livorno, sia quella secondaria Lima-Pescia-Pontedera-Livorno, collegate fra loro da opportune trasversali. Dal nodo di Stagno parte la linea a 30 kV che alimenta Coltano e serve anche all'impianto idrovoro della Bonifica. L'ultimo tratto, dalla biforcazione (cabina di Cancello dei Pini) alla Radio, è di proprietà dell'Amministrazione. I sostegni della linea sono già predisposti per il raddoppiamento della terna a partire da Stagno ed è anche fatta riserva di costruire all'occorrenza una nuova linea distinta e indipendente dalla prima, e proveniente da altro centro di alimentazione. La linea a 30 kV è tutta aerea. I disturbi che essa potrebbe recare alla ricezione radio non hanno alcun peso, perchè nel caso di grandi centri il servizio è sempre fatto in duplex e la stazione ricevente è altrove. La ragione per cui in molti impianti l'ultimo tratto della linea di alimentazione di energia è in cavo, deve ricercarsi nella possibilità di disturbi prodotti dall'impianto ad alta frequenza sulla linea di energia. Nel caso di Coltano, data la forma degli aerei e la loro posizione rispetto alla linea (fig. 1), è stato possibile valutare a priori l'ordine di grandezza delle f. e. m. e delle correnti ad alta frequenza in essa indotte, deducendo che esse non avrebbero potuto provocare alcun disturbo, come infatti è avvenuto.

Fig. 8. — Circuito magnetico dei grandi archi.

5. - *Schema elettrico principale* (fig. 7).

La linea a 30 kV, 50 periodi, incontra in cabina gli apparecchi di protezione a condensatore, un interruttore principale e gli apparecchi di misura, ed alimenta un trasformatore trifase 30000/5000 V, 900 kVA con prese supplementari per 28 000 e 29 000 V. È in corso di fornitura un altro trasformatore di eguale potenza allo scopo di costituire la necessaria riserva. La tensione secondaria di 5000 V è stata scelta, sia perchè essa è una delle tensioni normalizzate, sia perchè il macchinario della vecchia radio era già alimentato a 5000 V dalla linea dell'impianto primitivo, sia infine perchè la tensione di 5000 V si prestava bene per un collegamento in cavo fra le due radio. Dalla cabina partono quindi due cavi trifasi a 5000 V l'uno per la nuova, l'altro (armato) per la vecchia radio.

Fig. 9. — Sezione della cassa e degli elettrodi dei grandi archi.

La radio transcontinentale fu studiata innanzi tutto per funzionare con convertitori ad arco; ma in pari tempo si ritenne conveniente installare anche un impianto di generazione elettromeccanica. I due apparati avrebbero dovuto funzionare l'uno come riserva dell'altro e l'esperienza avrebbe deciso circa l'opportunità di svolgere prevalentemente il servizio con questo o con quello. Per l'alimentazione degli archi, tenuto conto dei dati raccolti nei molti impianti già eseguiti dalla R. Marina e delle ipotesi sulle proprietà dell'antenna da costruire, si considerò una tensione massima di 1000 V ed una po-

tenza massima di 350 kW. Un gruppo convertitore, costituito da motore a induzione 5000 V, 50 periodi, 980 giri, e da una dinamo a eccitazione separata 1000 V, 350 A, a un solo collettore (prova di rigidità a 5000 V alternativi efficaci per 10m a caldo), fu installato per l'alimentazione degli archi, e un altro gruppo identico è in corso di fornitura. Per il comando dell'alternatore, date le troppo ampie variazioni della tensione alternata di linea e le difficoltà di una buona regolazione di velocità nel caso di comando diretto, e tenuto conto del fatto che il macchinario per la conversione in corrente continua era già necessario per gli archi, si giudicò conveniente adottare un motore a corrente continua a 1000 V.

Per i numerosi servizi ausiliari a corrente alternata fu prescelta la tensione trifase di 220 V concatenata, 125 V stellata, ottenuta con

gnalazioni, ecc., e per l'illuminazione, in caso di mancanza di corrente alternata. L'eccitazione delle dinamo da 1000 V può esser fornita o dalle rispettive eccitatrici o dalle sbarre a 120 V alimentate dagli accumulatori.

6. - *Convertitori ad arco.*

I due convertitori ad arco Poulsen sono sistemati nella sala contigua a quella delle macchine. Essi furono studiati per una intensità massima di corrente continua di 300 A, pari a 213 A di corrente di antenna. Il progetto fu eseguito in base a studi teorici e con l'aiuto dai dati raccolti sugli archi di minor potenza installati, condotti e in parte costruiti dalla R. Marina. Il circuito magnetico degli archi ri-

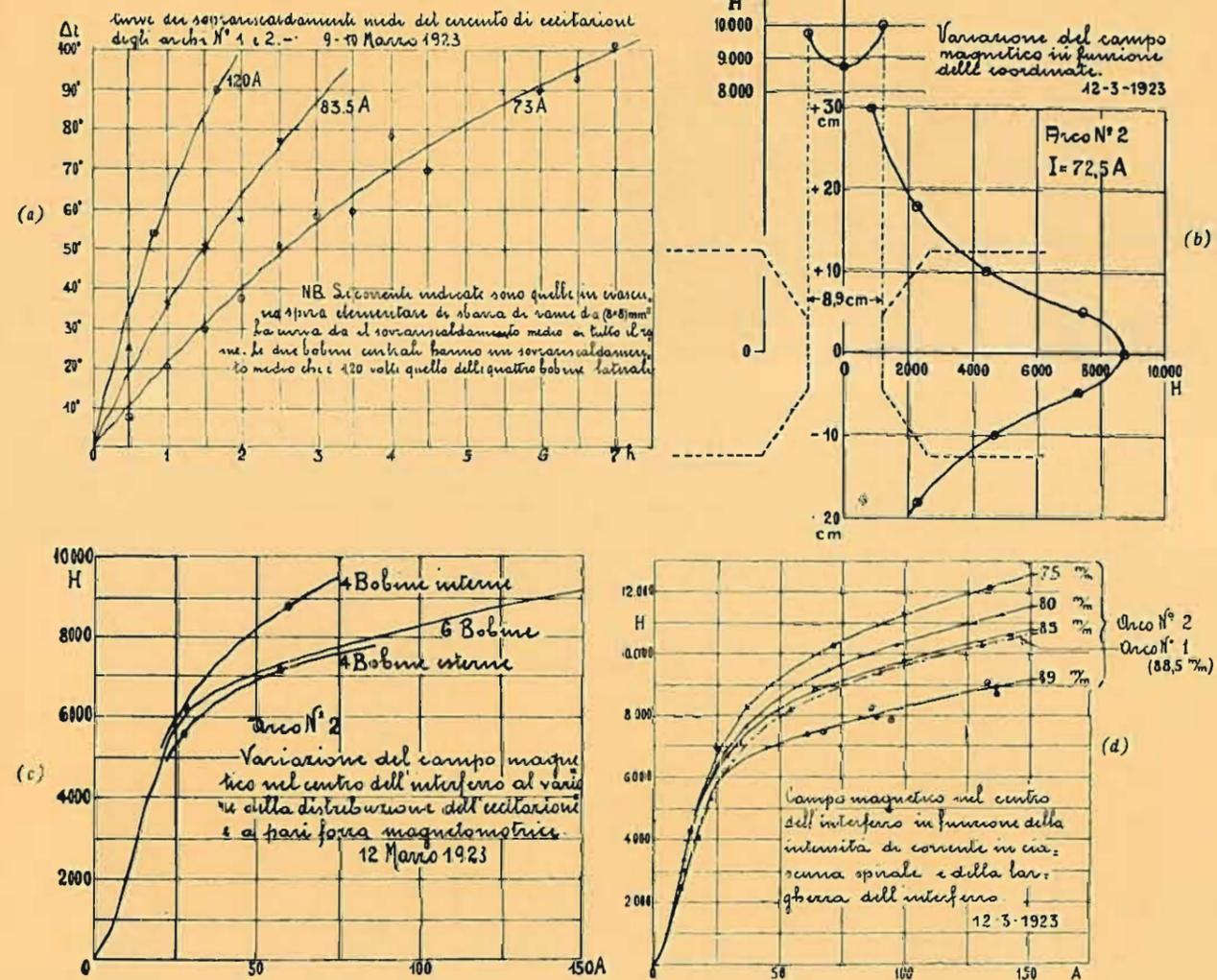



Fig. 10. — Prove sui grandi archi.

un trasformatore da 100 kVA. Sotto questa tensione sono alimentati il motore del gruppo convertitore per produzione di corrente continua (motore a induzione 980 giri, dinamo 120-180 V 500-333 A; un secondo gruppo identico è in corso di fornitura), le pompe dell'impianto idrico, i motori degli aspiratori degli archi, i motori di officina, l'impianto di illuminazione e il cavo di energia (trifase con neutro) che reca corrente a tutti i fabbricati del centro e sbocca con l'altro estremo nella vecchia radio, di dove può anche essere alimentato mediante il trasformatore da 5000 220 V iv installato per i servizi ausiliari.

La sala macchine della nuova radio contiene, oltre i gruppi convertitori con il trasformatore 5000/220 V e le due pompe, anche il quadro di manovra a 5000 V e quello di distribuzione. A quest'ultimo sono collegate le due batterie di accumulatori a 120 V della capacità di 2300 Ah ciascuna alla scarica in 3 ore, che servono per i meccanismi ausiliari degli archi, dell'alternatore, degli impianti telegrafici, delle se-

sulta dalla fig. 8; dalla fig. 9 si possono rilevare i particolari della cassa e degli elettrodi. Il circuito magnetico è in acciaio fuso, la cassa con i suoi prolungamenti è in bronzo a doppia parete per permettere la circolazione d'acqua, l'isolamento degli elettrodi della cassa è ottenuto mediante dischi di eternit. I rocchetti di eccitazione, montati sui due poli sono costituiti ciascuno da 6 ciambelle di piattina di rame di sezione 8 × 8 mm, comprendenti 152 spire per ogni ciambella.

I diagrammi della fig. 10 raccolgono i risultati di alcune delle prove eseguite sugli archi. Dalla fig. 10-*a*) risulta confermato che le grandi bobine massicce, sebbene ventilate da una piccola intercapedine fra ciambella e ciambella, sono in condizioni di raffreddamento assai sfavorevoli, così che, anche con una densità di corrente di poco superiore a 1 A/mm², il sovrariscaldamento a regime è eccessivo. Di ciò era stato tenuto conto in progetto; infatti dalla fig. 10-*d*) si rileva che l'intensità di campo necessaria, pari a circa 7000 gauss, si può

ottenere, anche con la massima apertura di interferro, con una intensità di 50 A per bobina cioè con 0,78 A/mm² nel rame. La fig. 10-*b*) dà un'idea del modo di variare del campo quando ci si allontani assialmente, ovvero radialmente dalla zona centrale dell'interferro; la fig. 10-*c*) dimostra l'effetto delle dispersioni magnetiche, a cagione delle quali le ciambelle più prossime all'interferro esercitano un'azione preponderante.

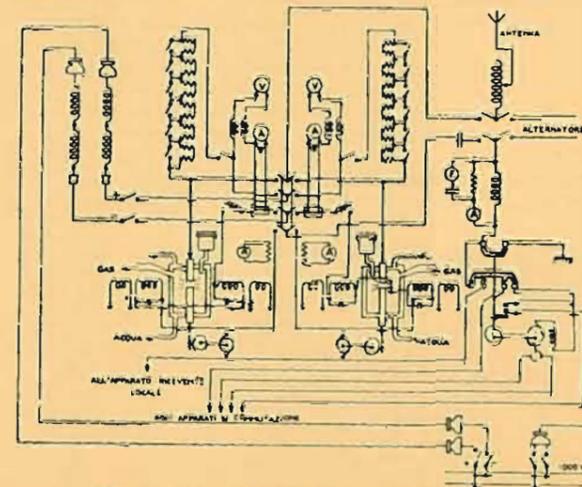



Fig. 11. — Schema di inserzione degli archi.

Lo schema di inserzione degli archi risulta dalla fig. 11. Come si vede, si è ritenuto conveniente non rinunciare all'isolamento del negativo e quindi anche della carcassa della macchina generatrice da terra ([2]). I dispositivi di protezione della macchina sono costituiti, oltre che dai due interruttori a massima, uno in partenza l'altro in arrivo, anche da 4 grandi spirali di reattanza, due per polo, di circa 6 mH ciascuna, da una catena di 8 scaricatori elettrolitici, appositamente studiati e costruiti, derivata fra i poli della macchina, da una catena di venti lampadine a incandescenza tubolari derivate anch'esse fra i poli e col punto di mezzo a terra e infine da un gruppo di due condensatori ad alta tensione di 0,08 μF ciascuno, collegati in serie (con interposizione di amperometri a filo caldo da 0,5 A) e connessi

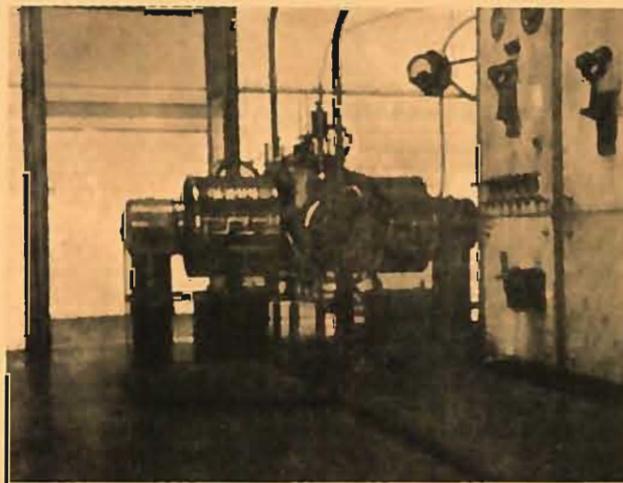



Fig. 11-bis. — Arco N. 1.

ai morsetti della macchina col punto di mezzo attaccato alla carcassa. L'eccitazione degli archi è fatta normalmente in serie, ma il tipo di avvolgimento permette anche una parziale o totale eccitazione separata. Le esperienze hanno dimostrato conveniente di non far partecipare alla funzione di induttanza di arresto anche il circuito di eccitazione in serie; perciò su di esso è stata derivata una capacità di

0,04 μF per ogni bobina. Le due bobine sono inserite fra loro in parallelo e in ciascuna di esse le ciambelle sono accoppiate in serie parallele (fig. 11 bis).

Gli archi sono dotati di una circolazione di acqua refrigerante, che viene divisa in due rami, l'uno sul percorso anodo — cassa anodica — coperchio, l'altro sul percorso catodo — cassa catodica — cassa centrale. Poichè il disco di eternit dell'anodo si riscalda sensibilmente e dà luogo ad effluvi con corrente oscillatoria più intensa di 175 A, occorre in questo caso usare una piastra porta-anodo appositamente costruita con doppia parete ed inserire anche questa nel circuito refrigerante. Gli archi sono dotati di apparecchi di alimentazione del carburante, del tipo a serbatoio e a goccia visibile, nonchè di una tubazione di scarico dei gas combusti con saracinesca, aspiratore e vasca di lavaggio. Per correnti di antenna non più intense di 175 A circa, il funzionamento può avvenire a cassa chiusa, senza aspirazione nè scarico dei gas combusti, e questa condizione ha anche il vantaggio di rendere molto meno probabili gli scoppi dovuti al for-

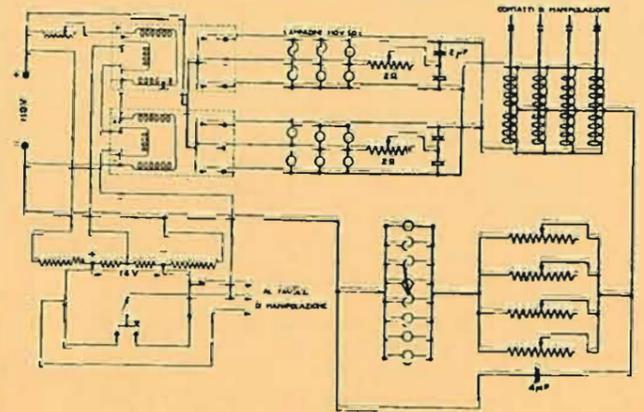



Fig. 12. — Tavolo delle chiavi degli archi.

marsi di miscela tonante. Tali scoppi possono dar luogo a incidenti spiacevoli se non sono assicurate opportune possibilità di sfogo del gas, in caso di accensione subitanea della miscela.

7. - *Induttanza di antenna e sistema di manipolazione.*

Un commutatore bipolare permette di passare dal funzionamento ad arco a quello con alternatore. L'induttanza di antenna, fornita insieme con quest'ultimo, serve in ambedue i casi. Essa è in nastro di rame di 80 × 1 mm, divisa in 7 ciambelle sovrapposte e portate da un'intelaiatura di legno e bakelite, montata con asse verticale su 7 grandi isolatori a cono. L'intera induttanza ha un valore di circa 3500 μH e può portare un'intensità di corrente di circa 200 A.

Il sistema di manipolazione è quello a onda di riposo; la variazione di lunghezza d'onda è ottenuta mediante la chiusura in corto circuito di un secondario multiplo, completamente isolato dall'induttanza e montato sulla stessa intelaiatura. Esso è formato da 4 spire di nastro di rame situate al di sotto dell'induttanza e comandate da quattro chiavi elettromagnetiche a doppio effetto. Uno dei contatti di ciascuna chiave è collegato rigidamente con un estremo della spira corrispondente, l'altro è invece collegato mediante cordone flessibile a un contatto scorrevole che permette di variare l'area della spira chiusa in corto circuito e quindi anche la corrente in essa indotta e la distanza fra le due onde emesse. Naturalmente il funzionamento dei contatti delle chiavi è tanto più soddisfacente, quanto minore è tale differenza fra le due onde. Si è constatato che in valore relativo essa può ridursi al 0,7 ÷ 0,6 % della lunghezza d'onda di lavoro. In tali condizioni e con 4 chiavi funzionanti simultaneamente sui 4 secondari, non occorre alcun soffio d'aria fino a che la corrente d'antenna raggiunge 150 A. Si può salire a 175 A con l'aiuto di un buon getto di aria attraverso i contatti ed infine, per correnti più intense, è necessario adoperare un numero maggiore di chiavi e di contatti. Gli elettromagneti a doppia bobina di ciascuna chiave sono collegati in parallelo e comandati da due relais elettromagnetici (fig. 12), azionati a loro volta dalla macchina telegrafica Wheatstone. Le chiavi permettono una velocità massima di manipolazione di circa 150 caratteri. Era allo studio un sistema di apparecchi per la manipolazione rapida. Un'altra induttanza più piccola e distinta da quella di antenna serve per distribuire la corrente fra le varie prese di terra (§ 14).

([2]) *L'Elettrotecnica*, 15 aprile 1921, Vol. VIII, N. 21, pag. 282, e *Bollettino R. T.*, Vol. II, N. 14, pag. 58.

8. - *Alternatore ad alta frequenza.*

L'impianto dell'alternatore ad alta frequenza fu previsto dapprima secondo uno studio fatto appositamente ex novo e una ditta costruttrice nazionale aveva assunto l'impegno di fornirlo, dopo avere con successo costruito e fornito un alternatore di prova da 6 kW. Per ragioni di opportunità l'Amministrazione della Marina ritenne a suo tempo conveniente rinunciare alla diretta esecuzione anche di questa parte dell'impianto e di affidarla alla « Marconi's Wireless », la quale a sua volta acquistò il gruppo presso la Société Française Radio Electrique. Il gruppo, ora in corso di montamento, appartiene al tipo ben noto degli alternatori Latour-Bethenod (costruiti dalla Société Alsacienne di Belfort), che si sono diffusi nelle molte stazioni, di cui l'abile iniziativa della Compagnie Générale Radiotélégraphique ha saputo accaparrarsi la fornitura e l'esercizio non solo nella metropoli e nelle colonie francesi, ma anche all'estero. Trattasi, come è noto, di un alternatore a ferro rotante, con dentature fra loro nel modo indicato dallo schema (fig. 13). Raggruppate a 2 a 2 esse alimentano i 4 primari di un trasformatore di oscillazioni, di cui l'unico secondario è in serie con l'antenna. La manipolazione è fatta per chiusura in corto circuito. Nella linea di terra sono inseriti un dispositivo per la misura dell'intensità e della frequenza ed un interruttore con motorino di comando, per il passaggio dell'antenna su un circuito di ricezione. Anche l'alternatore ha bisogno di essere refrigerato, sebbene, per diminuire le perdite, il rotore sia fatto girare in un'atmosfera rarefatta, tenendo chiusa la carcassa e facendo agire una pompa a vuoto. (Il vuoto non deve essere troppo spinto per evitare l'innescamento di scariche attraverso l'aria, troppo facilmente ionizzabile). La refrigerazione si ottiene mediante circolazione d'olio così nello statore come nel rotore. Altro olio sotto pressione viene inviato a provvedere di lubrificazione forzata i cuscinetti. Le pompe di circolazione dell'olio, coi relativi motori, filtri e refrigeratori per l'olio stesso, la pompa del vuoto col suo motore, le condotte di circolazione dell'acqua e dell'aria, fredde e calde, e le canalizzazioni

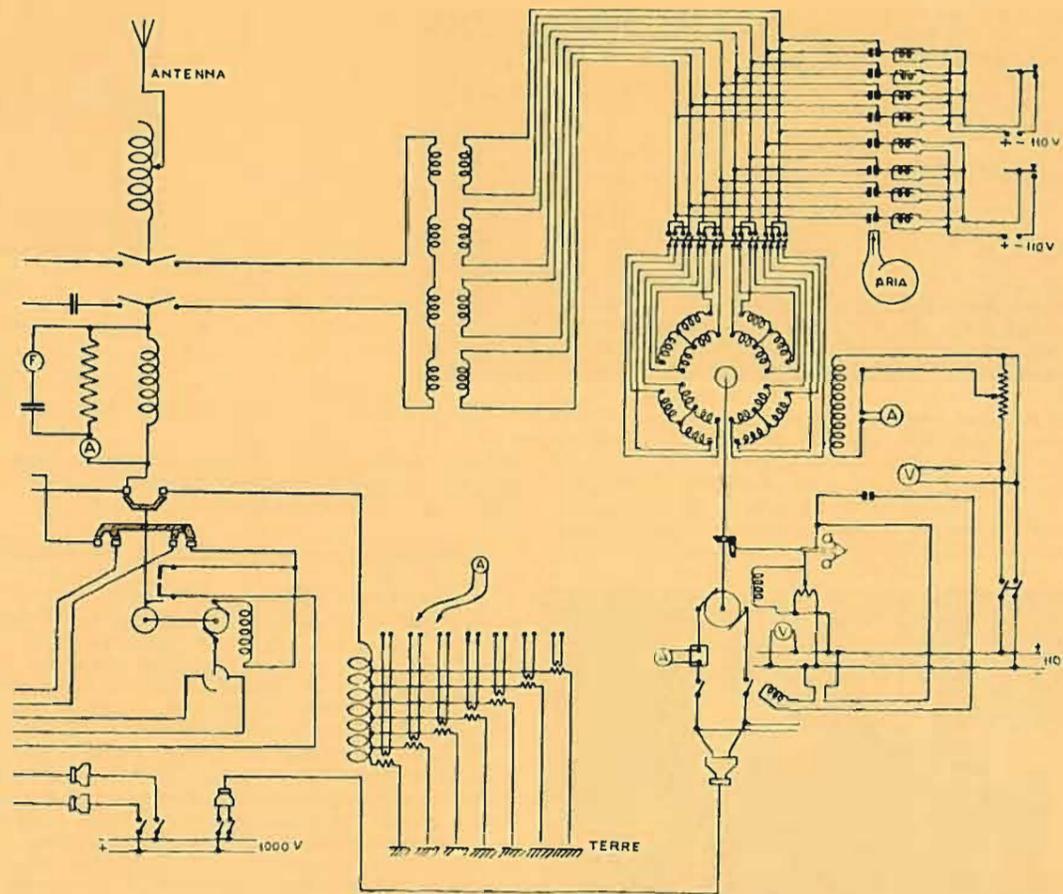



Fig. 13. — Schema dell'impianto dell'alternatore ad alta frequenza.

laminata così nello statore come nel rotore. Il tipo di Coltano è quello da 200 kW che negli ultimi esemplari è stato portato, con qualche perfezionamento fino a 250 kW. Esso è costruito per frequenza di 18 750 periodi al secondo, ossia per lunghezza d'onda di 16 000 m, con velocità di rotazione di 2700 giri al minuto; ma può essere regolato anche per velocità e quindi per frequenze alquanto diverse. Il problema dell'eliminazione del calore che si svolge nel gruppo è particolarmente difficile.

Il motore, a corrente continua, 1000 V, è comandato dalla dinamo principale attraverso due regolatori automatici, uno per l'avviamento, l'altro per il funzionamento normale, ed il suo schema di inserzione comprende anche i reostati di regolazione automatica di velocità, i dispositivi di blocco e di sicurezza contro il pericolo di velocità eccessiva e quelli per frenamento elettrico. Esso abbisogna di una energica ventilazione; l'aria fresca viene aspirata dall'esterno attraverso una batteria di filtri sistemati in apposito casotto, l'aria calda è spinta in una condotta che sbocca all'esterno.

L'alternatore ha l'avvolgimento frazionato in 8 sezioni, collegate elettriche formano un'insieme così complesso, che si ritenne conveniente dividere i locali destinati a questa parte dell'impianto in due piani distinti e collocare in quello superiore il gruppo e i quadri di comando e di manipolazione e il trasformatore di oscillazioni, lasciando al piano inferiore tutto il resto del macchinario e delle condutture.

9. - *Distribuzione dei locali della nuova Radio.*

L'insieme dei macchinari e degli apparecchi descritti è stato collocato nei vari locali del fabbricato nel modo di cui si è già dato cenno nel § 3 e che risulta dalle fig. 4, 5 e 6. L'ingresso, il corridoio, la sala macchine, la sala archi, la cabina, il magazzino, l'officina, le latrine hanno il pavimento a quota 3,75 sul mare. L'altezza dei vani maggiori è di 8 m e permette i lavori di montamento e di smontamento dei macchinari, agevolati anche dalla presenza di grandi porte di accesso e di due carri-ponte della portata di 8 tonn, sistemati uno nella sala macchine, l'altro nella sala dell'alternatore. Il locale destinato a quest'ultimo impianto è diviso, come si è detto, in due

piani da un solaio con pavimento a quota 5,90. L'ampio vano è stato progettato in maniera da riservare il posto per un'altra installazione

Fig. 14. — Serbatoio idraulico da 60 tonn e isolatore di ritenuta della coda.

identica o anche di maggior potenza; e ciò allo scopo di permettere in avvenire sia di passare tutto il servizio normale sugli alternatori, sia di accrescere la potenza dell'impianto proporzionatamente ad un eventuale aumento dell'estensione dell'antenna, sia infine di sistemare un apparecchio convertitore a triodi, quando questo sistema si dimostrasse maturo per un tale impianto.

Alla stessa quota di 5,90, a cui si trova il piano sopraelevato nel locale alternatori, sono i tre ambienti nell'angolo sud est del fabbricato, l'uno destinato a servire come sala per conferenze ed esperimenti, gli altri due per uffici. I locali sottostanti al piano di quota 5,90 sono a quota 3,25 e comprendono i locali dei meccanismi ausiliari dell'alternatore e le sale per gli accumulatori. Si può accennare che il solaio al di sotto del trasformatore di oscillazioni ed in tutta la zona invasa da campi oscillatori intensi è stato costruito mediante un sistema di pilastrini e di volte in muratura, per evitare l'impiego di membrature metalliche. Sopra il magazzino, l'officina, l'ingresso e le latrine, per le quali l'altezza di 8 m era superflua, è stato rica-

Fig. 15. — Pianta del primo piano.

vato un ammezzato che contiene uffici di segreteria e locali di deposito.

Tutte le connessioni elettriche, all'infuori di quella parte del circuito luce che si svolge nei locali più lontani dai campi oscillatori, sono in cavo sotto piombo. Le canalizzazioni, per la parte più importante del fabbricato, corrono in cunicoli praticabili, che accolgono anche tutte le altre condutture di acqua, aria, gas, ecc. e servono altresì, per mezzo di sbocchi esterni, a scopi di ventilazione.

10. - *Impianto idraulico.*

L'impianto idraulico doveva innanzi tutto soddisfare alle esigenze imposte dal fabbisogno di acqua di circolazione così per i convertitori ad arco, come per il macchinario ad alta frequenza. Il fabbisogno massimo previsto è di circa 200 litri al minuto. A ciò si è provveduto con l'acqua del vicino palude e precisamente con quella di una antica grande vasca esistente a sud-est del fabbricato principale, verso cui convergono alcuni canali e che non si è mai prosciugata neppure nei più lunghi periodi di siccità. Di là, attraverso a un breve canale e ad un filtro a ghiaia, l'acqua perviene in una vasca di decantazione di

Fig. 16. — Tavolo di manipolazione della radio continentale ICI.

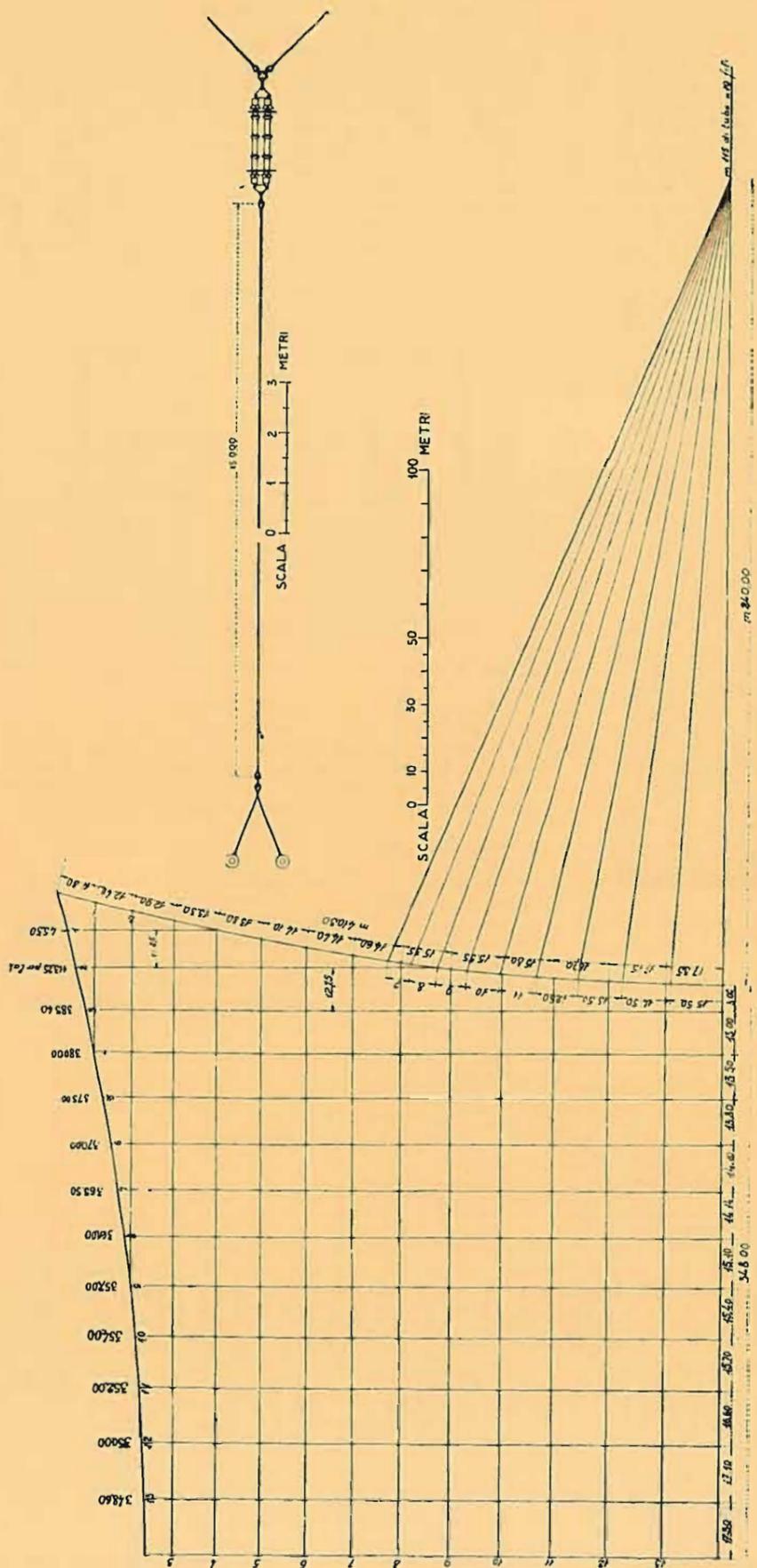



Fig. 17. — Reticolato della grande antenna e penzolo di attacco al pilone.

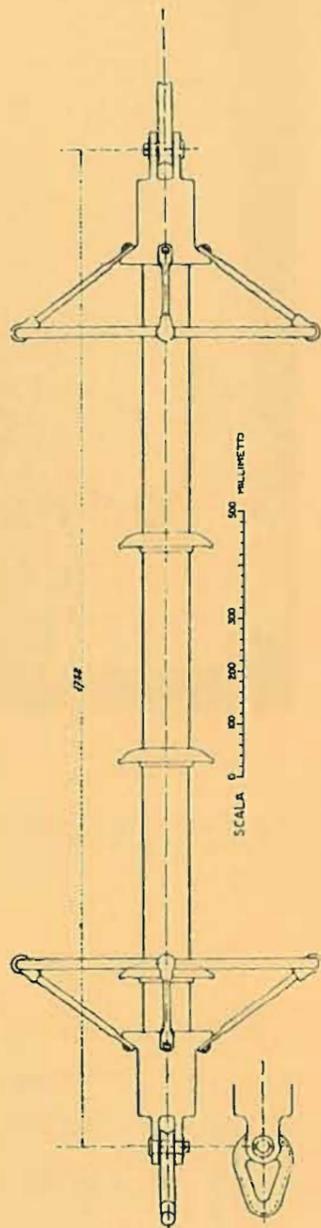



Fig. 18. — Isolatore di sospensione della grande antenna.

m 23 × 12.80 (coperta da una leggera tettoia in cemento armato), che immette in un canale coperto e nel pozzo di aspirazione delle pompe. Queste sono due, eguali, con motore trifase 220 V 50 periodi e sono capaci di erogare 1000 litri al minuto con una prevalenza di 25 m. Esse sono sistemate nella sala macchine in un vano a quota più bassa (da cui si accede ai cunicoli), allo scopo di meglio garantire l'innescamento. Normalmente la mandata delle pompe immette nella

Fig. 19. — Basamento, treppiede, cerniera e tronco inferiore di traliccio

tubazione che carica il serbatoio in cemento armato (fig. 14) della capacità di 60 m³ e con quota di fondo m 16,50. Dal serbatoio parte una tubazione di erogazione (in cui si può immettere direttamente, all'occorrenza, la mandata delle pompe), che alimenta, non solo le derivazioni principali per la circolazione negli archi e nei macchinari dell'alternatore, ma anche le prese per incendio in prossimità del fabbricato principale. Essa può essere collegata attraverso una saracinesca, con la tubazione generale dell'acqua di lavanda, che corre lungo la strada centrale da un estremo all'altro dell'impianto e si dirama a ciascuno dei fabbricati, alle prese di incendio e ai circuiti refrigeranti degli apparati della vecchia radio. Di regola la saracinesca è chiusa e questa tubazione è alimentata a parte da un altro serbatoio della capacità di 35 m³ costruito sul tetto della casermetta con quota di fondo 16. Esso viene rifornito da due pompe a comando automatico, collegate con un pozzo appositamente scavato (§ 17).

All'acqua potabile si è provveduto, in seguito ad opportuni accordi, prolungando la diramazione eseguita dall'Opera dei Combattenti per i Palazzi di Coltano ed alimentata dall'Acquedotto del Comune di Livorno, proveniente da Filettole.

11. - *Sala telegrafica e sale di manipolazione.*

Il piano superiore del fabbricato principale è destinato all'ufficio telegrafico e agli apparati di manipolazione radio (fig. 15). È costituito

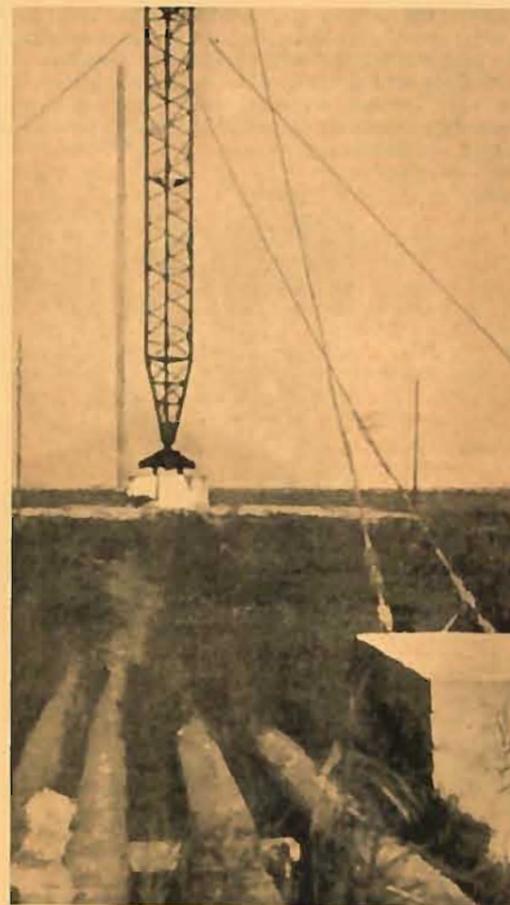



Fig. 20. — Tratto inferiore del pilone N. 4 e pilone N. 2.

da un ingresso a vetrate, per mezzo del quale si accede anche alla terrazza, e da quattro locali distinti e comunicanti, forniti di un sistema di piccoli cunicoli nel pavimento per le connessioni elettriche. In questi locali si è voluto riunire tutto il personale telegrafista e radiotelegrafista e tutta la condotta del traffico, non solo della radio transcontinentale, ma anche della radio continentale e di quella coloniale, i cui apparati si trovano nel fabbricato del vecchio impianto. Il capo della stazione (o per esso il capoturno di servizio) deve poter dirigere e seguire tutto l'andamento dell'impianto, senza allontanarsi dal suo posto. Presso il macchinario deve restare il solo personale elettricista, avvertito per mezzo di segnalazioni elettriche delle manovre da eseguire per l'avviamento, l'arresto e la regolazione degli organi e degli apparati ad esso affidati. L'ufficio centrale, anzichè nel fabbricato stesso della radio, si sarebbe anche potuto costituire, con le stesse funzioni, in luogo relativamente lontano, per es. a Pisa, nell'immediata vicinanza di quell'ufficio telegrafico. Tale soluzione, sotto parecchi aspetti più razionale e conveniente, non fu adottata per le notevoli spese che i collegamenti e l'ufficio avrebbero ri-

chiesto, e che non sarebbero state giustificate a cagione dell'incertezza sull'assetto definitivo dell'impianto.

La sala telegrafica comprende un quadro principale a caviglie, tre apparati Hughes e due Morse, e comunica con due piccoli locali attigui per le batterie di pile e di accumulatori. In essa sboccano, oltre alle linee di energia a corrente continua e alternata per i vari servizi, anche un cavo telegrafico per il collegamento colla rete nazionale dei telegrafi, due cavi telegrafici e di segnalazione per il collegamento con la radio coloniale e continentale e il cavo di manipolazione della radio transcontinentale. Il cavo telegrafico è un cavo aereo sotto piombo a 10 coppie; esso è disteso dalla Radio verso levante fino alla strada del Caligi (fig. 1), al di là della quale si prolunga in una linea telegrafica ordinaria che si ricollega al fascio principale presso Vicarello. Erano stati progettati numerosi collegamenti (in proporzione col numero di coppie del cavo) per agevolare il rapido inoltro dei telegrammi da e per Coltano, ma in via provvisoria essi furono limitati a due linee dirette con Roma e Milano, servite da apparati Hughes, e a due linee con Livorno e col Centro ricevente per l'inoltro delle note, servite da apparati Morse. I due cavi di segnalazione fra le due radio sono da otto coppie ciascuno. Essi servono per le comunicazioni di servizio col personale elettrici sta destinato agli apparati della vecchia radio, per le linee di manipolazione, per i campanelli di segnale, per le linee dell'apparecchio di controllo della corrente di antenna, ecc. L'esecuzione dell'impianto telefonico per le comunicazioni fra i vari locali e fabbricati di tutto il centro fu a suo tempo sospesa.

valore proposto. Messa a calcolo una tensione di 70 000 V con lunghezza d'onda di 16 000 m risulta necessaria una capacità di circa 25 $m \mu$ F.

Assunto questo valore per la capacità statica, fu studiata la forma dell'antenna. Se per valori più elevati di capacità, si sarebbe potuto discutere circa la convenienza di dare all'antenna una forma più o meno allungata, in questo caso, tenuto anche conto della disponibilità di terreno, s'imponeva quasi da sè la soluzione, che fu effettivamente prescelta. Essa consiste nell'adozione di un'antenna in forma di grande reticolato quadrilatero, sostenuto da quattro piloni eguali e collegato con la stazione per mezzo di una discesa a ventaglio, fissata ad uno dei lati. La forma prescelta è anche quella che meglio si presta, mediante l'aggiunta di successive coppie di piloni di seguito ai primi, ad effettuare quell'ulteriore eventuale ampliamento, di cui si volle mantener sempre libera ed agevole la possibilità. Uno studio preventivo, eseguito sulla scorta dei metodi proposti dal Howe [4], permise di prevedere che la voluta capacità si sarebbe raggiunta dando al quadrato delle basi dei piloni un lato di m 420, e ponendo la stazione a m 250 dal lato più prossimo. Nacque così la distribuzione in pianta rappresentata dalla fig. 1. Le misure eseguite nel 1923 hanno dato per la capacità statica di antenna il valore di 25,0 $m \mu$ F.

Per il tipo di reticolato di antenna si ritenne, in base all'esperienza raccolta nella Radio Roma, di poter continuare a servirsi della corda di bronzo fosforoso ad alta conducibilità, di diametro circa 3,5 mm, (7 fili di mm 1,2) rinforzando il reticolato con quattro

Fig. 21. — Tratto inferiore del pilone N. 2.

I tre rimanenti locali del primo piano, oltre la sala telegrafica, sono destinati alla manipolazione delle trasmissioni (simultanee) da parte delle tre antenne del Centro. La manipolazione è eseguita automaticamente mediante macchine Wheatstone. La preparazione delle striscie è fatta coll'aiuto di perforatrici Creed. L'operatore che sorveglia il funzionamento della Wheatstone, ha sott'occhio il testo del telegramma in corso di trasmissione e, coll'aiuto di un ricevitore e di una cuffia telefonica, verifica continuamente che la perforazione sia corretta e l'emissione e la manipolazione regolari. Per di più l'operatore può verificare continuamente che la corrente di antenna sia quella prescritta, mediante un apposito indicatore. In caso di avaria al relais o di irregolarità o errori nella striscia, si può passare immediatamente alla manipolazione a mano, mediante semplice inversione di un commutatore. Come esempio si riporta lo schema del tavolo di manipolazione per la stazione continentale ICI (fig. 16).

12. - *Antenna.*

La parte forse più interessante del centro di Coltano è quella che riguarda il padiglione aereo o antenna. Per il servizio col Nord America, posto a base dei calcoli, si ritenne necessario un coefficiente di efficacia di almeno 35 000 metri-ampere [3]. Contrariamente alle tendenze che allora si manifestavano in America, ma concordemente con quelle seguite anche da altri in Europa, si ritenne conveniente adottare piloni di sostegno dell'altezza di 250 m. Presumendo un'altezza di radiazione di almeno 165 m, bastava allora una intensità efficace di 212 A di corrente di antenna per raggiungere il

corde terminali e con due interne in croce, tutte in cavo d'acciaio (draglie) (fig. 17). Tutti i fili di antenna sono assicurati alle draglie e fra loro mediante robuste legature in filo di bronzo. I fili della coda (a ventaglio) sono 19; di essi i due più esterni sono rinforzati, perchè costituiti da 4 fili ordinari legati insieme. L'apertura del ventaglio è limitata alla parte centrale della draglia sud per mantenere i fili della coda ben lontani dai controventi dei due piloni più prossimi. Sono tuttavia completate le connessioni in filo di bronzo dai fili della coda a tutti i conduttori che partono dalla draglia sud. La lunghezza del ventaglio è sufficiente per permettere di farne discendere il vertice fino a terra senza abbassare gli attacchi superiori. Dal vertice del ventaglio alla parete nord della stazione, la coda di antenna si prolunga (a questo riguardo il disegno da cui è stata ricavata la fig. 2 è inesatto) con un conduttore tubolare lungo m 115 e costituito da 19 fili di aereo tenuti a distanza da anelli di rame del diametro di 20 cm. I punti di attacco esterni dell'antenna sono perciò cinque, di cui quattro al vertice dei piloni ed uno alla ritenuta della coda contro il fabbricato. Il peso totale dell'antenna si avvicina a 4 tonnellate. Tenuto conto della tensione iniziale di montamento (con atmosfera calma) calcolata in tonn 4 per ogni vertice, della superficie di reticolato esposta al vento e di una pressione massima di questo, pari a 300 kg/m² su superficie piane, si è calcolato lo sforzo massimo di tensione che l'antenna può esercitare sul vertice di un pilone. Questo sforzo risulta di 10 tonn circa.

L'isolamento dell'antenna dai sostegni è stato affidato ad isolatori del tipo cilindrico o a bastone, in cui cioè la porcellana è sollecitata a trazione. Il tipo di isolatore adoperato risulta dalla fig. 18; ogni

[3] *L'Elettrotecnica*, 25 settembre 1923, Vol. X, N. 27, pag 650, e Pubblicazione N. 26 dell'Istituto E. e R. T.

[4] *The El.*, 28 agosto e 4 e 11 sett. 1914 vol. 73 pag. 829 e seg. e 17 sett. 1915 vol. 75 pag. 870.

esemplare fu sottoposto a una prova di trazione di 5 tonn. Per la sospensione dei vertici dell'antenna si prescelse un tipo di attacco binato con due isolatori collegati da traverse a snodo (fig. 17). Il sistema deve quindi reggere fino alle 10 tonn previste nel caso di vento massimo eccezionale; esso costituisce altresì una valvola di sicurezza

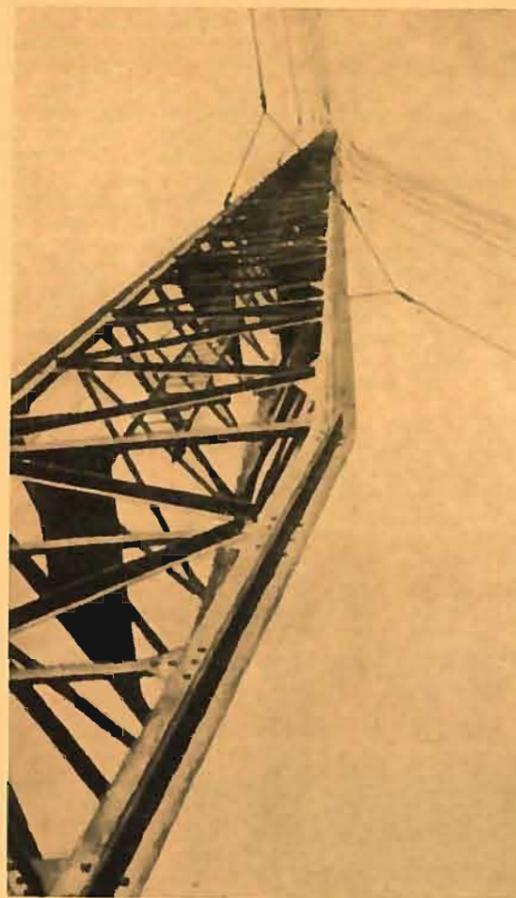



Fig. 22. — Un pilone visto dal basso.

meccanica, in quanto che, in caso di sollecitazioni anormali, dovrebbe essere il primo a rompersi, evitando i danni molto maggiori che le sollecitazioni stesse potrebbero produrre sui piloni. Sulla ritenuta della coda è stato sistemato un altro isolatore del medesimo tipo fig. 14). A partire dall'attacco di esso l'antenna si prolunga in un fascio di fili e poi in un tubo e perviene all'isolatore di passaggio in porcellana, sostenuto da due ampie lastre di vetro, la cui intelaiatura è fissata nella parte più alta della grande apertura di accesso dall'esterno alla sala archi. Tutti gli isolatori di sospensione sono forniti di anelli di guardia per migliorare la distribuzione del potenziale elettrico.

13. - *Piloni di 250 metri.*

I dati principali per il calcolo dei piloni sono costituiti, oltre che dalla tensione esercitata dall'antenna, sia in riposo, sia col massimo vento, anche dall'ipotesi della pressione del vento su tutto il pilone e sui suoi controventi e dallo spostamento che si ammette debba subire il vertice nella condizione di sollecitazione massima. Sono invece variabili entro certi limiti altri dati assai importanti, quali il numero dei controventi o stralli, il tipo di struttura metallica, la distanza degli ancoraggi dalla base, la creazione di cerniere intermedie, ecc. Si ammise che la pressione massima, che il vento avrebbe potuto esercitare sul pilone, variasse linearmente dalla base al vertice da 100 a 300 kg/m². Si ammise altresì che in queste condizioni il vertice del pilone dovesse spostarsi di 2 m dalla sua posizione di riposo. L'ipotesi di uno spostamento così ampio è naturalmente accompagnata dalla condizione che il pilone si sposti restando rettilineo (a meno che non vi siano cerniere intermedie, ciò che in questo caso si era escluso) e che il suo appoggio alla base

sia a cerniera. La scelta di questo appoggio, che è stato realizzato con un perno sferico e relativa calotta, ambedue in acciaio fuso, permise altresì di studiare il sistema in modo tale da consentire l'isolamento dei piloni da terra. La questione della convenienza o meno di tale isolamento è stata più volte discussa, e può considerarsi ancor oggi non del tutto risolta.

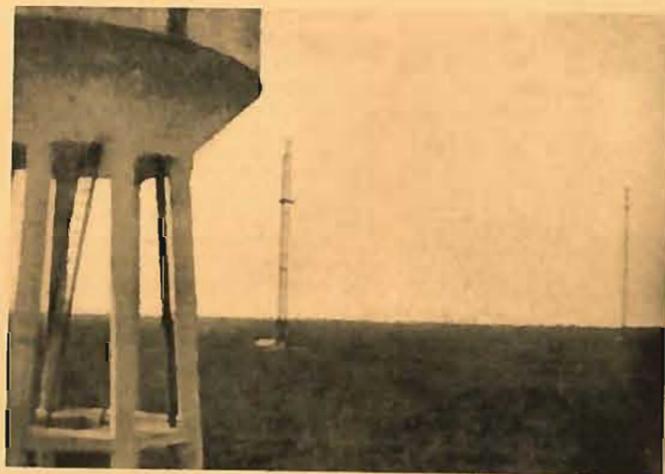
È da ritenersi che, ove non si incontrassero eccessive difficoltà tecniche ad effettuare un isolamento veramente buono della base dei piloni, esso sarebbe più conveniente che non la messa a terra diretta, ma che questa sia invece assai preferibile ad un isolamento imperfetto e mutevole con le condizioni atmosferiche. Il treppiede (figure 19, 20 e 21), che porta il perno sferico, può essere poggiato su tre gruppi composti ciascuno da quattro colonne di isolatori di porcellana del tipo a cilindro schiacciato e leggermente rigonfio (a forma di formaggio). Ogni colonna deve comprendere quattro di tali isolatori, separati da dischi di materiale plastico, quale il piombo o meglio (secondo i risultati delle prove effettuate e indipendentemente dalla questione della durata) il legno santo. Nell'attesa di avere una serie di isolatori provati meccanicamente in modo del tutto sicuro ed in ogni caso per non cimentarli durante il lavoro di montamento, si misero inizialmente in opera, in luogo dei gruppi di quattro colonne di isolatori, altrettanti blocchi di granito di eguale altezza. Sono previsti appositi martinetti per sollevare di poco il treppiede ed eseguire la sostituzione degli isolatori ai blocchi di granito, i quali hanno dimostrato di non dare un isolamento elettrico abbastanza elevato e di richiedere quindi la connessione alla terra dei piloni. In queste condizioni l'altezza di radiazione, misurata sull'onda di m 10 750, è risultata di 165 m.

Quanto al tipo di struttura fu scelto quello triangolare, perchè, permettendo l'uso di tre sole famiglie di controventi (stralli), in tre piani distanti di 120° fra loro, consentiva (nel caso di quattro soli piloni) di tenere gli stralli ben lontani dalla proiezione dell'antenna sul piano orizzontale. Dopo vari studi di massima risultò più conveniente, come dimensione laterale della sezione a triangolo del trave a traliccio, quella di m 2,50 (fra i centri delle nervature) e ciò in relazione col numero di controventi prescelto. Per questo numero è stato adottato un valore abbastanza alto e cioè di 12 per ogni famiglia, ossia di 36 per ogni pilone, oltre uno speciale strallo suppletivo al vertice di ogni pilone per controbilanciare lo sforzo dell'antenna. Un

Fig. 23. — Il pilone N. 3 durante il montamento.

numero rilevante di stralli permette di ridurre la lunghezza dei tronchi liberi e quindi di rendere più leggero ed economico il pilone, e permette altresì (insieme con la posizione degli ancoraggi relativamente lontana dalla base) di usare per gli stralli, cavi di acciaio di moderate dimensioni, più economici anch'essi, più maneggevoli e più adatti ad essere frazionati mediante isolatori. I tronchi liberi sono 12 e la

loro lunghezza è di 25 metri per i 6 più bassi e va poi progressivamente decrescendo fino a 10 m per l'ultimo. Gli ancoraggi si succedono raggruppati in quattro gruppi a distanze di m 52,50 dalla base e fra loro. Il gruppo più interno ed il successivo portano due stralli ciascuno, gli altri due ne portano invece quattro; lo strallo speciale di equilibrio dell'antenna ha un suo ancoraggio a parte alla distanza di 40 m dall'ultimo, ossia di 250 m dalla base del traliccio. (Naturalmente la fig. 2, puramente dimostrativa, non dà indicazioni esatte circa il numero e la distribuzione dei controventi).

Il problema del calcolo dei controventi consiste nel determinare, per un dato tipo di corda di acciaio, da usarsi per un dato controvento, la tensione iniziale o di montamento (quando l'azione del vento è nulla) che ad esso si deve dare, affinchè, verificandosi la massima pressione di vento fissata come ipotesi e verificandosi in conseguenza il previsto spostamento del punto di attacco, nasca per questo fatto un aumento di tensione del controvento esattamente eguale a quello necessario per mantenere in equilibrio il sistema, sotto l'azione dei nuovi sforzi a cui è sollecitato. La determinazione della tensione di montamento, in funzione dei dati accennati, si esegue facilmente col procedimento indicato dal Colonnetti [5] e studiato appunto in occasione di questo lavoro, e coll'aiuto dell'abbaco a tal fine da lui costruito. Il calcolo dimostrò conveniente adottare corda d'acciaio del diametro di 30 mm per gli stralli superiori dal sesto in su e corda da 26 mm per quelli inferiori. In realtà fu adoperata quasi esclusivamente corda da 30 mm. Le tensioni iniziali calcolate variano da 0,5 a 4 tonn, quelle finali da 4 a 14. Queste tensioni finali sono state calcolate nell'ipotesi che il vento spiri nel piano degli stralli esterni in direzione verso il padiglione aereo sospeso e tenendo conto di tutte le sollecitazioni prodotte dal vento sull'antenna, sul pilone e sugli stralli così di sopravento come di sottovento. Naturalmente molte altre ipotesi si protrebbero considerare sia riguardo alla direzione del vento, sia riguardo alla distribuzione della sua intensità; ma, a parte il fatto che esse sarebbero risultate troppo arbitrarie, si ritenne che i coefficienti di sicurezza assunti nel calcolo dell'ipotesi principale bastassero a fornire una ragionevole garanzia.

Il metodo di calcolo usato in progetto fu poi applicato anche per la rettifica dei piloni durante e dopo il montamento. A tal fine vengono determinate, mediante successive stazioni del tacheometro e con calma di vento, le posizioni dei punti di attacco dei controventi al pilone e quindi gli scarti dalla verticale (in grandezza e direzione) di ciascuno di essi. In pari tempo, conoscendo con esattezza la posizione geometrica reciproca e rispetto al piano orizzontale di riferimento dei due punti di attacco di ciascun controvento e misurando con un inclinometro la direzione della tangente all'attacco inferiore, si determina la tensione effettiva data allo strallo. Con questi elementi si calcolano i dati di rettifica, cioè le lunghezze di cui occorre allungare o accorciare ciascun controvento, affichè, a rettifica eseguita e senza vento, siano soddisfatte le due condizioni: 1) posizione verticale e forma rettilinea del traliccio; 2) tensione iniziale dei controventi eguale a quella prevista in progetto.

In base agli elementi descritti si è potuto progettare il pilone di 250 m di altezza con un peso totale proprio di circa 80 tonn. La struttura comprende i tre montanti, i quali sono alla base composti ciascuno da quattro verghe angolate da 120×120×11 e si vanno man mano alleggerendo fino ad essere costituiti al vertice da tre verghe da 80×80×10. La fig. 22 mostra un pilone visto in iscorcio dal basso. Gli attacchi dei tralicci e quelli dei controventi sono fatti mediante lamiere interposte fra le verghe; i tralicci sono di due tipi, in basso 80×80×8, in alto 70×70×7. I montanti sono frazionati in tronchi di lunghezza netta 5 m, oltre le sovrapposizioni di giunzione. Questi tronchi di montante (di cui i più pesanti si avvicinano a 1 tonn) furono preventivamente chiodati in fabbrica. Durante il montamento ciascuno di essi doveva essere sollevato e infilato per il tratto di sovrapposizione sulla sporgenza del tronco inferiore già montato. Messo a posto un tronco per ciascun montante e collegati questi con i tralicci, veniva ad esser costituito un nuovo tronco di cinque metri di tutto il pilone. Per eseguire queste operazioni fu studiata (mediante un modello) la manovra più comoda ed opportuna, che richiese la costruzione e l'impiego, per ciascun pilone, di una «gabbia di montamento» a due ripiani, portante un alberetto centrale e verticale girevole e un «picco» sporgente. Fissati i due ripiani della gabbia nell'ultimo tronco di pilone già montato, l'altezza dell'albero e del picco permettevano di sollevare i tre nuovi pezzi di montante fino ad incastrarli in quelli già in opera. Fissati questi ed i tralicci con bulloni, il nuovo tronco era costituito e la gabbia veniva sollevata di 5 m, mediante paranchi differenziali, per ripetere la operazione.

Fig. 24. — I piloni N. 1 e 2 durante il montamento.

Per la robustezza molto maggiore, che la giunzione mediante chiodi ribaditi presenta in confronto con quella mediante bulloni, ed anche per la maggiore leggerezza ed economia, che si possono conseguire, fu deciso di chiodare completamente la struttura dei piloni; e a tal fine, mentre durante il primo montamento la struttura veniva provvisoriamente fissata con bulloni, si provvedeva di pari passo, una diecina di metri più sotto, alla chiodatura di tutte le giunzioni. A ciò serviva un ponte triangolare, esterno al traliccio, fornito anche di aperture o botole per lasciar passare i ferri, con cui coloro, che operavano più in alto, provvedevano a prolungare la struttura. Sul ponte lavorava una squadra di quattro operai chiodatori, forniti degli attrezzi necessari, compresa una fucinetta a carbone. Il montamento dei quattro piloni fu compiuto rapidamente e senza serie difficoltà nell'estate '22. Il tronco inferiore convergente e, prima di esso, il treppiede col perno sferico furono montati già in un sol pezzo (peso di oltre 3 tonn) mediante una biga. L'attacco dell'antenna fu fatto con un penzolo di cavo d'acciaio lungo complessivamente m 16,50 (fig. 17), che fa testa sul vertice del pilone mediante una traversa, a cui è assicurato anche lo speciale 13° strallo in fuori. Gli attacchi degli stralli sono «a patta d'oca» cioè biforcati, così che l'attacco di ogni strallo interessa direttamente due montanti, e il pilone volge le facce (e non gli spigoli) alle linee degli ancoraggi (fig. 22). Le figure 23, 24 e 25 presentano l'aspetto dei piloni durante il montamento.

Se può essere dubbia l'opportunità di tentare l'isolamento alla base dei piloni, non è dubbia la convenienza di frazionare mediante isolatori le lunghe campate dei controventi. A tal fine, sulla base di esperienze apposite, si ritenne di poter adottare per i controventi in cui la tensione massima prevista non supera 10 tonn il tipo di isolatori a noce a doppia gola già usati nella Radio Roma (stralli 1, 2, 3, 4, 5, 12). Per tensioni superiori a 10 tonn, quali si prevedono per gli

[5] *L'Elettrotecnica*, 25 novembre 1920, Vol. VII, N. 33, pag. 590.

altri stralli, si dimostrò conveniente usare un altro tipo di isolamento, che desse migliori garanzie dal punto di vista meccanico, e si studiò quindi una speciale struttura, in cui si utilizzano isolatori a formaggetta, assoggettandoli esclusivamente ad uno sforzo di compressione, per quanto possibile uniformemente distribuito (fig. 26). Poichè queste strutture vengono a costituire un insieme alquanto pesante e rappresentano quindi un carico concentrato negli stralli, e poichè d'altra parte il progetto richiede (e in ciò sta la ragione dei pregi di leggerezza ed economia dell'insieme), che le frecce degli stralli siano assai considerevoli, non si è ritenuto consigliabile collocare i nuovi isolatori compositi in punti intermedi delle campate, di cui potrebbero esagerare le oscillazioni trasversali, sibbene di sistemarli in numero conveniente ai due estremi, in prossimità dei punti di attacco (fig. 27). L'isolamento è stato particolarmente accresciuto per le due famiglie di controventi, che si trovano sotto la coda a ventaglio dell'antenna. Gli attacchi dei controventi agli ancoraggi sono fatti mediante carrucole di bronzo e stringitoi a bulloni (fig. 28). Non si sono adottati tenditori a vite per economia, ed anche perchè la corsa di cui avrebbero dovuto essere suscettibili avrebbe richiesto dimensioni esagerate.

I blocchi di fondazione in calcestruzzo, su cui poggiano i piloni, sporgono parzialmente dal suolo e si allargano progressivamente in basso fino ad estendersi a un'ampia base esagonale e ad imprigionare le teste di 34 pali di pino battuti a rifiuto per costipare il terreno. Il peso approssimativo di ciascun blocco è di 170 tonn. Il carico, che il pilone fa gravare sull'appoggio nelle condizioni di massimo vento, assunte come ipotesi, è di 250 tonn. I blocchi degli ancoraggi sono anch'essi di calcestruzzo, parzialmente rinforzati con palafitte e del peso approssimativo di 40 tonn per gli ancoraggi a due attacchi e di 80 tonn per quelli a quattro.

Intorno alla base di ciascun pilone è stato costruito un piazzale di manovra e lungo ciascuna linea di ancoraggi un arginello di larghezza bastevole per la «Décauville». In tal modo l'accesso ai basamenti e agli ancoraggi è assicurato anche nelle stagioni in cui il padule è allagato.

14. - *Presa di terra.*

Per la presa di terra fu studiato, prima ancora che si avessero notizie di tentativi analoghi ideati all'estero [6] un sistema inteso a ridurre sensibilmente la resistenza di terra e ad aumentare quindi il rendimento di radiazione [7]. Il sistema doveva provarsi in via sperimentale e rendersi poi definitivo. Il concetto informatore fu quello di frazionare la presa di terra in tante prese distinte, di addurre separatamente la corrente a ciascuna o a gruppi di esse e di regolare questa distribuzione della corrente fra le singole terre, in modo da utilizzarle al massimo grado, ossia da ridurre la resistenza totale ad un minimo. A tal fine, dopo aver deciso di estendere il sistema di terra fino a un contorno distante di circa 250 m dall'ottagono degli arginelli, fu diviso il terreno così delimitato in 74 scompartimenti e in ciascuno di essi fu costruita una presa o stella di terra. Poichè per ogni stella di terra si è adoperata all'incirca la stessa quantità di materiale, si sono assegnate aree più vaste alle stelle più lontane, là dove il campo elettrico è meno intenso, così da proporzionare opportunamente la densità del reticolato metallico alla corrente che esso deve portare (fig. 29). Ogni stella è costituita di una lastra di rame dello spessore di 1 mm e della superficie di m^2 (1×1). Da ciascun vertice del quadrato parte un fascio di 4 conduttori di rame della lunghezza di 3 m, collegati con un tubo di rame del diametro di 40 mm e della lunghezza di m 1,10. Tutto in giro dalla lastra centrale partono a raggiera 8 a 10 fili di rame da 3 mm. La lastra è affondata orizzontalmente a m 1,30 di profondità e così i fasci di fili che vanno ai tubi, i quali sono affondati verticalmente fino ad arrivare con l'orlo inferiore a 3 m dal suolo. I fili radiali sono alla profondità di circa 0,55 metri; gli estremi di quelli appartenenti a una stella non vengono a contatto con quelli delle stelle contigue, ma ne distano di almeno due metri. Da ogni lastra di terra parte una striscia di rame che, imprigionata in un pilastrino di calcestruzzo, esce fuori dal terreno e si connette con la corrispondente linea di terra. Per una prima prova le stelle furono raggruppate e connesse ordinatamente con 14 linee che all'entrata nella stazione si accoppiano a due a due così da fornire 7 prese di terra (terre 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,) (fig. 30). Ad esse se ne aggiunge un'ottava (terra 0) costituita da una lastra a T di m^2 4, anch'essa con 4 tubi verticali connessi ai suoi vertici e collocata presso la parete nord del fabbricato principale. (Altre buone terre sono state eseguite in vari punti intorno alla stazione, per le esigenze degli altri servizi elettrici).

Fig. 25. — Il pilone N. 1 durante il montamento e parte degli alberi della radio coloniale.

Mentre, coi vecchi tipi di terra a reticolato completamente immerso nel suolo, la parte più prossima al generatore è quella più intensamente utilizzata per diffondere la corrente nel terreno ed il rimanente produce un beneficio assai limitato, col sistema descritto è possibile inviare a ciascun gruppo di prese di terra la intensità di corrente, che ad esse compete per ridurre al minimo le perdite. A tal fine occorre tuttavia compensare le cadute di tensione che si incontrano nelle linee di terra in proporzione alla loro lunghezza ed il mezzo più semplice è quello di introdurre, in serie con ciascuna delle linee più corte, una reattanza conveniente. Si può cioè costituire un partitore di tensione mediante una semplice induttanza a più prese da cui si partono le linee di terra (fig. 13). L'esperienza ha confermato le previsioni teoriche, secondo le quali, dato lo sviluppo delle linee di terra, la tensione in partenza sulla linea delle terre più lontane (terra 7) deve essere all'incirca di 2500 V nel funzionamento con 175 A di corrente di antenna e lunghezza d'onda 10750 m.

15. - *Funzionamento del sistema irradiante.*

Il fatto che, non appena fu possibile mettere in funzione gli archi, tutte le parti dell'impianto dimostrarono di corrispondere bene alle previsioni, e che fu quindi disposta l'immediata entrata in esercizio (anche per sostituire temporaneamente la Radio Roma durante la sua trasformazione), ebbe per conseguenza, che mancò il tempo per lo svolgimento di una serie minuziosa di prove; la quale del resto perdette poi anche di interesse, in vista dell'imminente cambiamento di direzione del Centro. Dalle esperienze preliminari, eseguite sia con correnti deboli, sia in effettivo funzionamento, risultarono tuttavia i

[6] *L'Elettrotecnica* 15 febbraio 1923 vol. 10 n. 5 pag. 100 e *Bollettino R. T.*, vol. II n. 21, pag. 277.

[7] *L'Elettrotecnica*, 5 aprile 1921, Vol. VIII, N. 12, pag. 213, e Pubblicazione N. 11 dell'Istituto E. e R. T.

seguenti elementi fondamentali: capacità statica dell'antenna 0,025 μF, lunghezza d'onda naturale con tutte le terre in parallelo 5450 m, resistenza totale di antenna (ancora con tutte le terre in parallelo) decrescente e poi crescente in funzione della lunghezza d'onda; la regione di minimo è fra 13 000 e 15 000 m e scende a circa 2,7 Ω per correnti di 200 A e coi piloni alla terra. (Ad es. tensione di alimentazione a corrente continua 780 V, lunghezza d'onda 14 020 m,

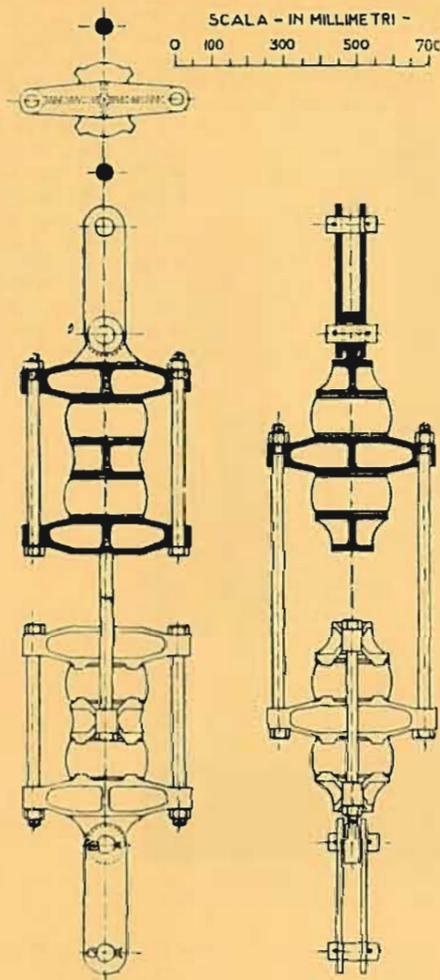



Fig. 26. — Isolatori tipo Coltano per tensioni meccaniche superiori a 10 tonnellate.

corrente di antenna a regime 195 A). Le lunghezze d'onda limite, su cui gli archi possono funzionare con differenti valori dell'induttanza di antenna, sono 6400 e 18 000 m. Con onda di 10 750 m, con altezza di radiazione 165 m e resistenza totale 2,8 Ω il rendimento di radiazione si calcola immediatamente in 13,5 % e quello di generazione degli archi si misura in 45 % circa, a partire dai morsetti della dinamo generatrice. In queste condizioni gli amperometri inseriti sulle linee di terra (mediante trasformatori torici) collegate fra loro in parallelo, indicano, come era prevedibile, che la corrente passa in grande prevalenza nella terra più vicina (terra 0) e in misura rapidamente decrescente nelle successive, in ragione della loro distanza.

Le prove col sistema di terre multiple risultano eccezionalmente promettenti, perchè, con una buona distribuzione delle prese sulla reattanza di terra, è stato possibile misurare con correnti deboli una resistenza globale di 0,9 Ω sull'onda di 11 000 m. Come si era preveduto, questo vantaggio si attenua al crescere della intensità di corrente, a cagione del modo affatto provvisorio con cui le linee furono costruite in via sperimentale, e cioè a cagione delle perdite per insufficiente isolamento, per insufficiente sezione dei conduttori, per il numero eccessivo di appoggi e per la loro natura, ecc. Si era infatti previsto, non appena le esperienze avessero fornito i dati necessari, di rendere definitiva la sistemazione, scegliendo per prova il migliore aggruppamento delle stelle di terra e sostituendo ai vecchi e corti (e perciò troppo numerosi) pali di legno e ai relativi isolatori (tutto materiale ricuperato dalla demolita linea a 5000 V, che alimentava il vecchio impianto), un sistema di pali a traliccio robusti e poco numerosi, con lunghe campate di abbondante sezione e con isolatori a 10 000 V. Anche questo lavoro rimase sospeso in vista della cessione.

Nel funzionamento ad arco il sistema a terre multiple richiede ancora, che si soddisfi ad un'altra condizione. Come è noto, nel convertitore ad arco i morsetti di entrata (della corrente continua) e quelli di uscita (della corrente oscillatoria) coincidono, e se un polo del circuito oscillatorio si connette alla terra risulta connesso a terra anche il polo corrispondente (di solito il negativo) della dinamo. Per evitare i conseguenti pericoli di corto circuito, si suole interporre nella linea di terra del circuito oscillatorio un condensatore di grande capacità (per es. 80 μF nel caso dell'antenna di Coltano), che oppone reattanza trascurabile alla corrente oscillatoria, ma funziona come condensatore di arresto per la corrente continua. In tali condizioni la tensione oscillatoria, che inevitabilmente si ritrova ai morsetti della dinamo (e provoca un passaggio di corrente di 0,20-0,25 A nel dispositivo di protezione a condensatore descritto nel § 6, con corrente di antenna 175 A e lunghezza d'onda 10 750 m), si ripartisce sia rispetto alla carcassa (isolata da terra), sia rispetto alla terra in due parti fra loro poco diverse. Adottando il sistema delle terre multiple nel modo qui indicato, si avrebbe invece che il negativo verrebbe ad assumere una tensione oscillatoria verso terra di circa 2500 V, ciò che sarebbe indubbiamente pericoloso per l'integrità degli isolamenti della macchina e degli archi, oltre che per l'incolumità delle persone. A ciò si rimedia agevolmente, sostituendo al condensatore di terra a grande capacità e bassa tensione, un altro di capacità di alcuni decimi di μF e per tensione di alcune migliaia di V, il quale provochi una

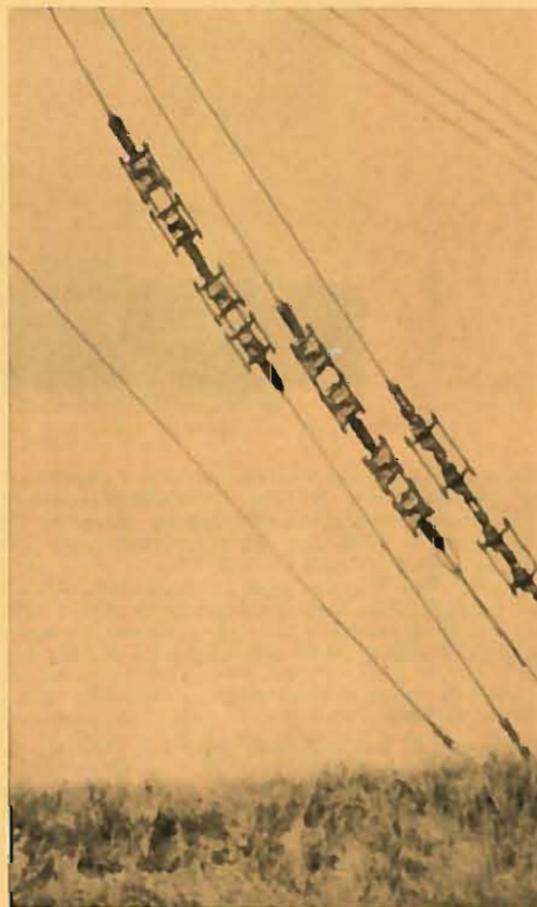



Fig. 27. — Isolatori doppi tipo Coltano inseriti sugli stralli.

caduta reattiva all'incirca eguale ed opposta a quella prodotta dalla reattanza delle linee. Resta così solo in circuito la inevitabile resistenza ohmica, accresciuta da quella che corrisponde alle perdite nel condensatore, ma essa provoca in ogni caso cadute di tensione molto minori. Con tale dispositivo si annulla anche l'aumento di lunghezza d'onda che le linee di terra tendono ad apportare. S'intende che la

capacità del condensatore deve essere variabile al variare della lunghezza d'onda, ma basta frazionare la variazione in pochi sbalzi per soddisfare alle condizioni volute. L'uso della capacità compensatrice con le terre multiple è superfluo nel funzionamento ad alternatore, in cui il sistema « antenna — secondario dei trasformatori di oscillazione — terra » forma un circuito completamente isolato da quello della macchina.

16. - *Stazioni minori.*

Le stazioni per il servizio coloniale e continentale derivano dalla vecchia stazione Marconi. Questa aveva un apparato di trasmissione a scintilla del tipo a scaricatore rotante asincrono, che fu a suo tempo smontato, e possiede un sistema di 16 alberi per il sostegno delle antenne. La disposizione degli alberi e la forma delle antenne risultano dalle fig. 1 e 2. Trattasi di due antenne a gomito, aventi ciascuna uno sviluppo orizzontale di 530 m, sostenute rispettivamente da quat-

Fig. 28. — Attacchi dei controventi agli ancoraggi.

tro coppie di alberi. Questi ultimi (fig. 31) sono costituiti per 45 m da un robusto traliccio convergente e per 30 m da un albero ed un alberetto in legno. Ogni antenna è composta da 24 fili sostenuti da draglie trasversali. L'antenna di Sud-Est ha i fili a distanze uniformi, isolati dalle draglie trasversali mediante isolatori « a candela ». Per essa si utilizza la vecchia presa di terra, di cui rimangono le lastre di rame sotterrate presso il fabbricato, mentre la parte rimanente, costituita da fasci di filo di ferro zincato, è ormai già da tempo del tutto scomparsa per effetto di ossidazione. La lunghezza d'onda naturale è di circa 3000 m, la capacità statica di 17 $m\mu F$, la resistenza di circa 5 Ω per l'onda di 5800 m. Per l'antenna Nord-Ovest fu progettato ed eseguito un nuovo reticolato di sostegno non solo per il padiglione aereo (a fili variamente distanziati per ottenere il massimo di capacità), ma anche per un tipo adatto di contrappeso isolato, da sostituire alla presa di terra, con la certezza di ottenere un oscillatore di resistenza molto ridotta. La struttura, già completa, è rimasta senza i fili di bronzo e non è quindi stata messa in esercizio.

Il fabbricato della vecchia Radio è rappresentato dalle fig. 32 e 33.

Il macchinario dell'impianto comprende: un vecchio gruppo motore sincrono trifase 5000 V, dinamo 110 ÷ 180 V, 100 kW, che carica le due batterie di accumulatori, ciascuna di 60 elementi e di capacità 1150 Ah alla scarica in un'ora; un gruppo survoltore-devoltore (preda di guerra) costituito da due macchine a corrente continua, una a 115 ÷ 160 V, l'altra a 320 V da 70 kW; una batteria di trasformatori

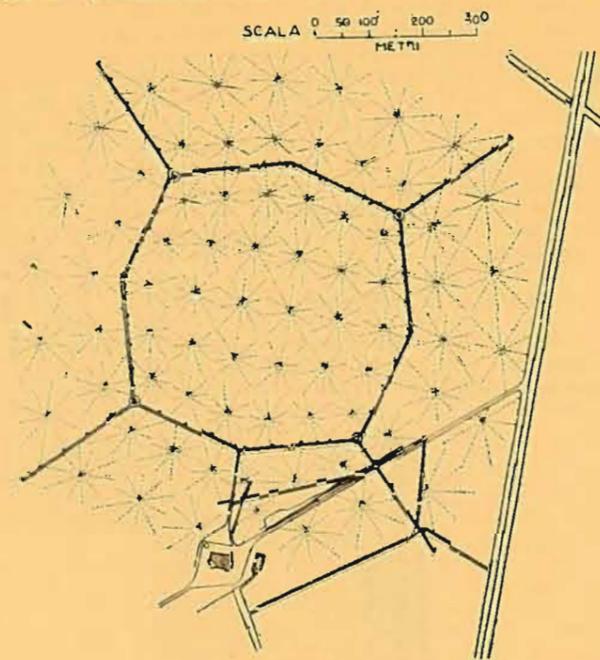



Fig. 29. — Stelle di terra.

monofasi (del vecchio impianto a scintilla), che costituiscono due terne di trasformazione trifase 5000/500 V da 110 kVA ciascuna; un gruppo convertitore (nuovo e da duplicare) con motore a induzione trifase a 500 V e dinamo da 75 kW per 400 ÷ 600 V. Lo schema generale è rappresentato dalla fig. 34. Esso è informato al criterio di utilizzare

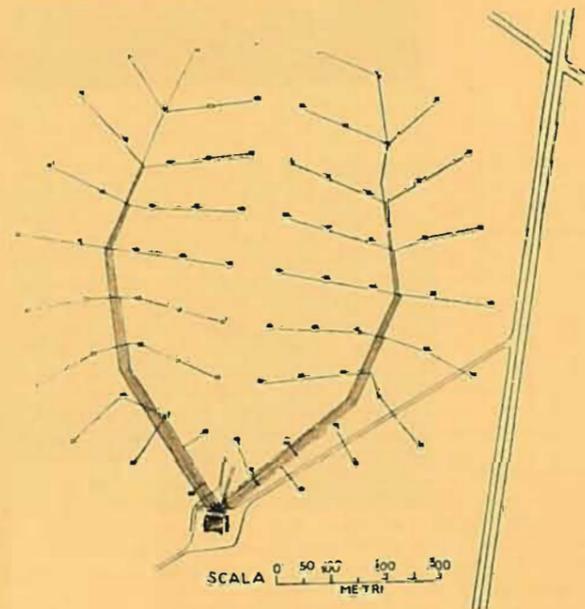



Fig. 30. — Linee di terra.

il macchinario esistente e di fornire agli apparati radio (ad arco o ad alternatore) corrente continua a 500 V, di produrre corrente continua a 110 V per la carica delle batterie, per i servizi ausiliari e per l'apparato a triodi e di disporre di una riserva, effettuata mediante il gruppo di trasformazione della corrente continua a 110 V in corrente continua a 500 V e viceversa.

Era previsto, non appena eseguita la trasformazione dell'antenna Nord-Ovest (che avrebbe dovuto essere così in grado di assumersi servizi a distanze considerevoli, compreso, almeno in parte, quello di Massaua), di eseguire analogo rimodernamento dell'antenna Sud-Est e di svolgere poi simultaneamente il servizio di ambedue, dapprima con archi e poi con apparati a triodi o ad alternatore. Sospesi i lavori, il servizio continentale è stato continuato con la vecchia antenna Sud-Est e coll'aiuto di un convertitore ad arco tipo R. Marina da 50 kW. La trasmissione avviene di regola con corrente di antenna 50 A e lunghezza d'onda 5800 m. La manipolazione ed il controllo della trasmissione sono eseguiti (§ 11) nella apposita sala del primo piano del fabbricato principale. Trovasi nella stazione anche un apparato a triodi «Marconi» del tipo detto da 6 kW, la cui potenza è insufficiente (tenuto conto della resistenza elevata dell'antenna) a produrre la corrente di aereo necessaria ai servizi ora affidati alla Radio Continentale. Esso servì bene, fino al mese di giugno 1923, per il servizio commerciale con la Spagna, passato poi alla Radio Centocelle (Roma).

17. - *Abitazioni ed altri fabbricati.*

Per la vita del personale destinato a Coltano, nell'ipotesi di personale appartenente alla R. Marina, furono previsti tre fabbricati di abitazione scaglionati lungo il lato nord della strada centrale (fig. 1 e 2).

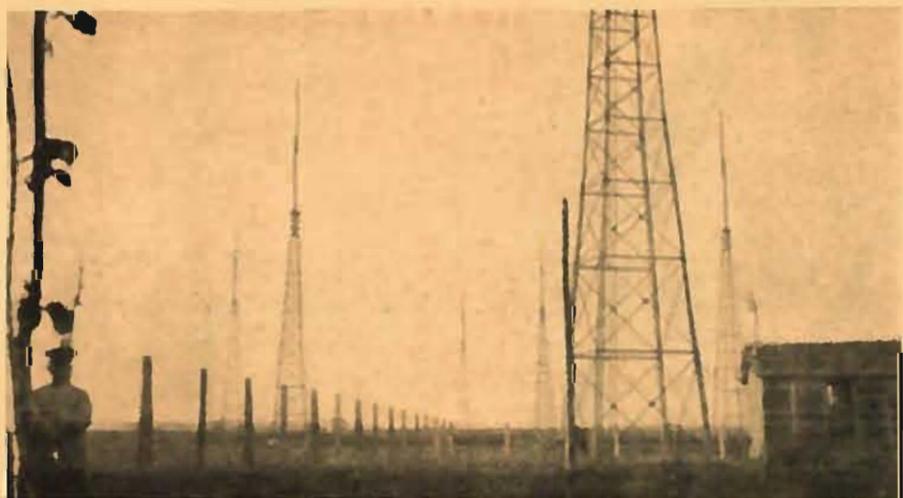



Fig. 31. — Alberi dell'aereo coloniale.

Di essi il più importante è la casermetta (fabbricato a due piani di pianta 47,50 × 12,75), che contiene da un lato il dormitorio marinai (72 posti), lavandini, bagni, refettorio, cucina, dispensa, magazzino vestiario, corpo di guardia, infermeria, ecc.; e dall'altro lato una sala da pranzo, una sala di convegno e undici camere da letto per sott'ufficiali, con cucina, dispensa, lavandini, bagni, ecc., oltre ad ampi locali di deposito negli scantinati. In un locale di questi ultimi trovasi l'impianto di pompe automatiche, che aspirano buona acqua di lavanda da un pozzo scavato appositamente a nord della casermetta (della portata di parecchie tonnellate giornaliere anche nella stagione secca) e la mandano nel serbatoio di 35 m³ sovrastante al tetto (§ 10). Segue alla casermetta, che è la più vicina alla vecchia Radio, una palazzina per l'alloggio dei sottufficiali con famiglia. Questo fabbricato (pianta 23,10 × 10,65) ha, oltre a scantinati e soffitte, tre piani, che comprendono in tutto sei piccoli appartamenti (vani alti m 3,20) di tre o quattro camere, con bagno e cucina. Dell'ultimo fabbricato, quello più prossimo alla nuova Radio e che doveva essere a due piani e contenere due piccoli appartamenti e tre camere separate per ufficiali, fu interrotta la costruzione, quando erano appena terminate le fondazioni.

Dal lato della strada opposto a quello, lungo il quale si trovano i fabbricati di abitazione, è stato costruito un fabbricato ad un solo piano, su pianta di m 45,35 × 10,60 coperto da tettoia in cemento armato e destinato in parte a rimessa degli autoveicoli (con fossa e piccola officina), in parte a officina del carpentiere e in parte a deposito. Era altresì previsto un piccolo fabbricato a parte, destinato a servire come deposito dei materiali infiammabili; ed erasi progettato l'adattamento a giardino, e in parte anche ad orti e pollai, di tutta la zona interna al recinto, ai due lati del viale centrale. Dietro ciascun fabbricato di abitazione fu costruito un ampio lavatoio in cemento e presso la palazzetta dei sott'ufficiali fu scavato un altro buon pozzo. Per il servizio della luce e per gli altri servizi elettrici fu a suo tempo disteso un cavo trifase con neutro a 220 V, che può essere alimentato tanto dall'una, quanto dall'altra Radio e si dirama in ciascuno dei fabbricati del centro. Analogamente si provvide ai servizi dell'acqua potabile e di lavanda, come già si è accennato. Oltre alla strada fra le due Radio fu costruita completamente (posando la massicciata sul tracciato di una vecchia strada a fondo naturale) la strada, che dalla nuova Radio raggiunge l'argine del Caligi e si prolunga lungo il canale fino al campo scuola di aviazione di Coltano. Di là le strade già esistenti permettono di giungere a Pisa attraverso le borgate delle Rene e di Ospedaletto. Lungo tale percorso furono eseguiti direttamente dal personale della Radio, con l'aiuto di due autocarri, i trasporti di tutti i materiali d'impianto esclusi soltanto quelli per le costruzioni murarie (trasportati su barrocci), ma compreso tutto il ferro e tutti i cavi d'acciaio dei piloni e dei loro ancoraggi e tutto il macchinario.

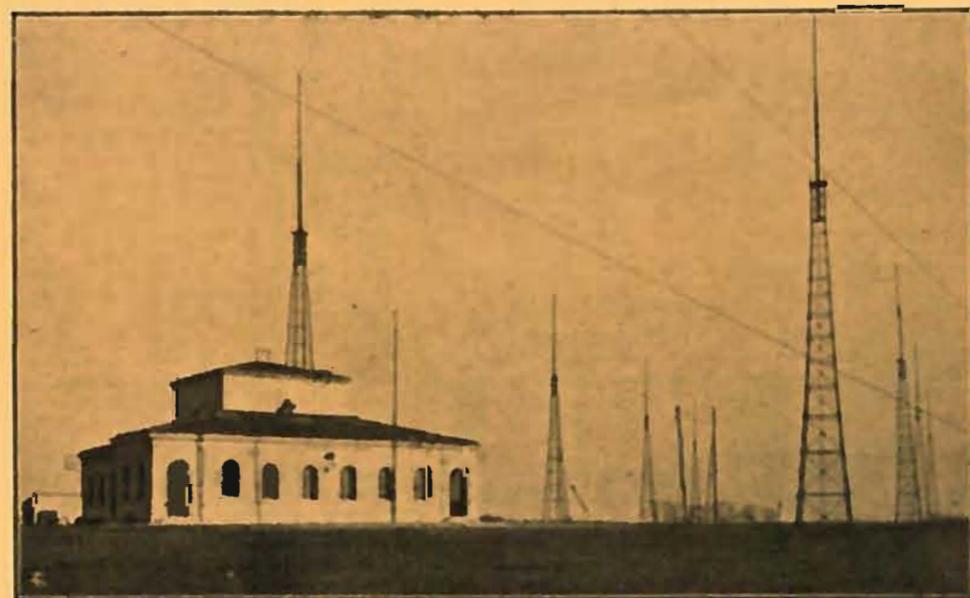
18. - *Centro ricevente.*

In relazione con la direttiva generale di adoperare prevalentemente la nuova Radio, nel servizio commerciale per il traffico col Nord-America, appariva conveniente sistemare il centro di ricezione all'incirca sulla normale alla direzione (per circolo massimo) da Coltano a New York. La distanza del centro ricevente da quello trasmittente si ritiene debba essere non inferiore a una ventina di km. La direzione della normale alla congiungente Coltano-New York e passante per Coltano taglia da un lato la costa tirrena poco a sud di Livorno, dall'altro traversa la pianura a levante di Lucca e, al di là dell'Appennino, scende di nuovo nella pianura non lungi da Modena. Sebbene l'esperienza finora raccolta abbia dimostrato che in generale la ricezione sulla riva del mare è più favorevole che non all'interno, tuttavia la posizione a Livorno e precisamente presso la R. Accademia Navale non apparisce consigliabile (a malgrado del favorevole orientamento) per l'impianto definitivo, a cagione sia della distanza un po' troppo piccola da Coltano (15,5 km), sia principalmente dalla troppo stretta vicinanza a reti elettriche di ogni specie, che provocano sempre molesti e spesso intensi disturbi (e ciò senza tener conto delle esigenze della stazione sperimentale dell'Accademia, il cui funzionamento è stato temporaneamento del tutto paralizzato dal funzionamento del centro ricevente). Per questi motivi si era prescelta una località ad est di Lucca a più di 20 km da Coltano e si erano svolti gli studi e avviate le pratiche per la costruzione quivi del centro ricevente (senza escludere la eventualità di un'altra installazione analoga verso Viareggio, nel caso di estensione del servizio al Sud America), quando, in attesa di decisioni definitive sulla sorte dell'impianto, si preferì preparare la stazione provvisoria a Livorno presso l'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina.

Il centro ricevente provvisorio dispone, per la ricezione dall'America, sia di un telaio interno di m 2,10 di lato e di 64 spire, sia di un grande aereo radiogoniometrico sostenuto dall'albero di 60 m della stazione. Questo secondo aereo, il quale dà di regola risultati

superiori al primo, ha la particolarità nuova di essere polifilare, cioè ognuno dei suoi due aerei piani triangolari è costituito da 6 spire in serie (ciascuna di area oltre 1000 m²). Il sistema normale di ricezione comprende tre filtri astatici ad alta frequenza, un'amplificatore a tre stadi di alta frequenza con circuiti risonanti intermedi e da ultimo l'intro-

Fig. 32. — Stazione Marconi (vecchia radio).

duzione della frequenza locale dell'eterodina, secondo il sistema Jouaust (8). Al triodo raddrizzatore seguono due filtri a bassa frequenza e a questi una triplice amplificazione a bassa. Tutto questo insieme è costituito da materiale della R. Marina (9), e si è dimostrato superiore ad un altro apparecchio fornito dall'industria privata, che si tiene pronto come riserva, così da poter passare con semplici manovre di commutazione dall'uno all'altro. La ricezione di WQL (stazione del Radio Central di New York, funzionante con alternatore ad alta frequenza e onda di 17 500 m) è possibile, salvo condizioni particolarmente avverse, in qualunque ora del giorno. È di solito molto giovevole aggiungere l'effetto di antenna a quello radiogoniometrico, così da realizzare il così detto diagramma di ricezione a cuore.

Si è constatato essere agevolmente possibile far funzionare sul grande aereo radiogoniometrico anche un secondo radiogoniometro, senza disturbare quello destinato al servizio con l'America. Con il secondo apparecchio si ricevono (in un altro locale) le trasmissioni di Northolt GKB, di Mosca RDW, di Cristiania LCH, di Vienna OHL, di Poznan AXJ, ecc. Un distinto impianto di ricezione su telaio si adopera invece per la ricezione da Berlino POZ (fino a giugno per la ricezione da Barcellona EAB). Anche queste ricezioni continentali hanno doppia installazione e utilizzano amplificatori aperiodici parte del tipo a resistenza, parte del tipo a induzione.

Il servizio delle note per Coltano si fa con apparati Morse per mezzo di due linee telegrafiche, di cui una diretta, l'altra attraverso l'ufficio centrale di Livorno. Per l'inoltro dei telegrammi in arrivo, che può anche esser fatto a mezzo di fattorini, si sono installate due macchine Hughes.

19. - *Servizio radio.*

I servizi, che la nuova Radio (ICC) si assunse subito in sostituzione della Radio Roma (San Paolo) e quelli sviluppati in seguito, sono principalmente i seguenti:

a) Massaua (ICX) e *Mogadiscio* (ISG). Questi servizi fanno fronte all'intiero traffico, del resto abbastanza modesto, fra l'Italia e le Colonie del Mar Rosso e dell'Oceano Indiano. La ricezione riesce assai difficoltosa e richiede molta abilità, a cagione della potenza relativamente limitata della stazione di Massaua (la quale nel traffico verso l'Italia fa da relais anche per la provenienza da Mogadiscio). Poichè questo servizio deve tornare alla Radio Roma, la ricezione rimase alla stazione ricevente di Monterotondo, la quale nei riguardi della distanza si trova in posizione più favorevole di Livorno ed ha effettivamente ricevuto il traffico in arrivo, anche in periodi di condizioni atmosferiche particolarmente avverse. Questo servizio si svolge di regola nelle prime ore del mattino.

b) Bollettino A. R. T. I. (ex Agenzia Radio Telegrafica Italiana) *e telegrammi circolari*. (CQ). Il bollettino è un riassunto giornaliero dei più importanti avvenimenti politici e delle notizie di interesse generale, che viene compilato ed inviato per proprio conto dalla Società «La Radio Nazionale». Esso viene largamente intercettato e serve quindi a rifornire di informazioni il naviglio mercantile sparso per tutti i mari del mondo.

c) Estremo Oriente e navi lontane. Con una scelta conveniente dell'orario e della lunghezza d'onda è possibile trasmettere giornalmente brevi telegrammi alla stazione della concessione italiana di

Fig. 33. — Stazione Marconi e aereo continentale.

Pekino e alle navi da guerra che si trovano in quei mari. Il traffico è unilaterale, quello di ritorno si svolge per cavo.

d) Levante. Nei primi mesi si ebbe un servizio abbastanza intenso con il Levante (Costantinopoli, Smirne, ecc.). Esso è assai diminuito in seguito agli avvenimenti internazionali, che hanno escluso la diretta ingerenza politica e militare delle grandi potenze nelle cose di Turchia.

e) Canadà. Per un accordo fra diversi gruppi giornalistici del Nord America fu installata ad Halifax (Nuova Scozia) una stazione ricevente (HX) destinata alla ricezione dei telegrammi di stampa dall'Europa. Il servizio delle frasi vien fatto per mezzo del cavo impe-

(8) *L'Onde Electrique*, gennaio 1922, Vol. I, N. 1, pag. 26.

(9) *L'Elettrotecnica*, 15 ottobre 1922, Vol. IX, N. 29, pag. 696, e Pubblicazione N. 19 dell'Istituto E. e R. T.

riale britannico dal Canadà all'Inghilterra e di là per radio dalla stazione di Northolt (GKB) a Coltano (Livorno).

f) Stati Uniti. Questo servizio fu avviato, in seguito ad appositi accordi con la Radio Corporation, nel mese di agosto. Esso si svolge in duplex con una delle due stazioni (WQK-WQL) che costituiscono per ora il Radio Central di New York e precisamente con la seconda. Questo collegamento non ha potuto assorbire per ora se non una piccola parte del traffico fra l'Italia e gli Stati Uniti, sopra tutto per la difficoltà dell'inoltro telegrafico dal luogo di accettazione a Coltano, inoltro che deve avvenire esclusivamente per la via di Milano il loro progressivo incremento non apparisce nettamente deciso per effetto delle cause accennate e specialmente per la riduzione del servizio col Levante. La media di 5000 parole giornaliere di trasmissione è assai bassa ([10]) e la stazione potrebbe comodamente, con un aumento relativamente insignificante di spesa di energia e senza sensibile aggravio del servizio o maggior cimento del macchinario e degli apparati, effettuare un traffico di trasmissione più che doppio, come provano del resto i massimi raggiunti in singoli giorni di particolare affluenza ([11]). Basterà a tal fine incanalare verso Coltano una parte sufficiente del volume di traffico disponibile per l'America.

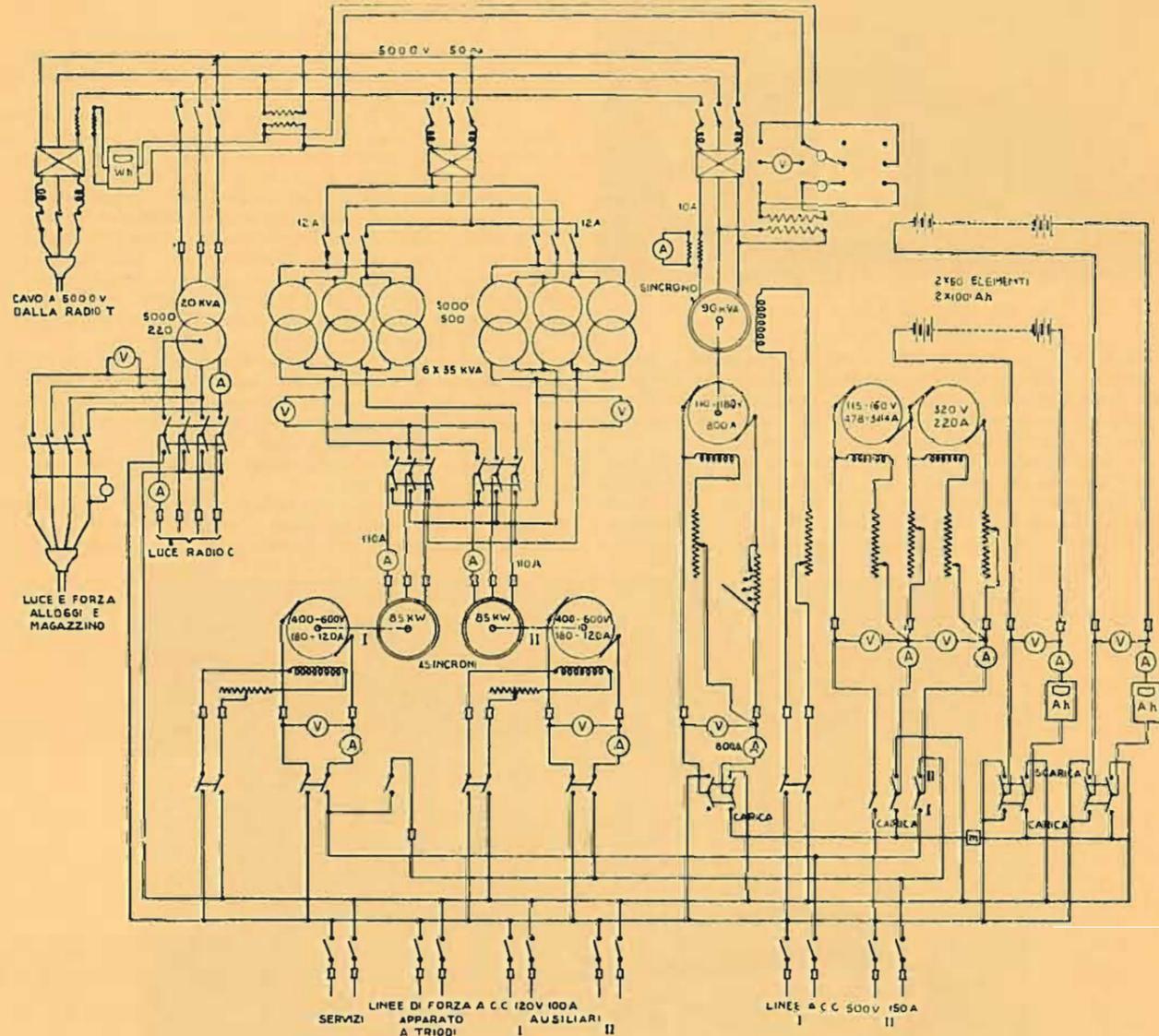



Fig. 34. — Schema elettrico della radio continentale e coloniale.

e di Roma, ed anche perchè il pubblico non è ancora abbastanza edotto dell'esistenza di questa via (aperta ad esso il 1° novembre), la quale dovrebbe rapidamente prevalere sulle altre, perchè risulta molto conveniente così dal punto di vista dell'economia, come da quello della rapidità del servizio, oltre ad essere, ben s'intende, assai più vantaggiosa delle altre per l'erario.

Il traffico della Radio Continentale (ICI) si svolge principalmente con Berlino (POZ) (fino a giugno con Barcellona EAB) e poi anche con Cristiania LCH, Mosca RDW, Poznan AXJ, ecc. Il servizio di ricezione del centro di Livorno è la controparte di quelli di trasmissione.

I diagrammi della fig. 35 danno un'idea del traffico svolto nei suoi primi mesi di vita dalla Radio transcontinentale; le ordinate sono i numeri delle parole mensili e rappresentano le sole parole tassabili trasmesse, indipendentemente dal traffico di ricezione. Le cifre che se ne deducono per il traffico totale sono ancora assai modeste ed anche

Il consumo complessivo di energia per tutti i servizi del Centro trasmittente si aggira su una media giornaliera di 3200 kWh.

20. - *Conclusione.*

L'impianto della nuova Radio Coltano e l'organizzazione di tutto il centro Radio sono stati eseguiti dalla R. Marina con forze proprie e con l'appoggio dell'industria nazionale (esclusa la fornitura dell'al-

([10]) *L'Elettrotecnica*, 25 settembre 1923, Vol. X, N. 27, pag. 651, e Pubblicazione N. 26 dell'Istituto E. e R. T.

([11]) I dati finora noti (*L'Elettrotecnica*, 15 settembre 1923, Vol. X, N. 27, pag. 657, e *Bollettino R. T.*, Vol. III, N. 25), dimostrano che i collegamenti transatlantici più attivi, i quali erano fino al marzo scorso quelli con la Germania e con l'Inghilterra, avevano avuto nell'ultimo anno un traffico medio di 20 000 parole giornaliere, come somma delle parole tassabili scambiate *nei due sensi.*

ternatore ad alta frequenza, di cui è cenno al § 8), senza ricorrere all'aiuto e senza far uso dei brevetti di alcuna compagnia radiotelegrafica. I risultati ottenuti alle prove, e confermati in oltre sette

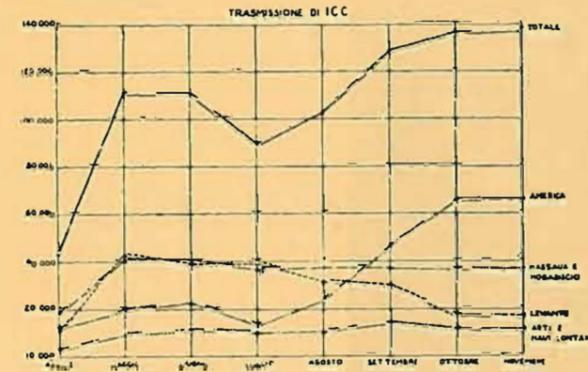



Fig. 35. — Diagrammi del traffico mensile di trasmissione della radio transcontinentale.

mesi di ininterrotto servizio, dimostrano che lo sviluppo dato dalla R. Marina alla tecnica radiotelegrafica in Italia è sufficiente a permettere al nostro Paese di fare ragionelvolmente da sè anche in questo campo.

*

NOTA. — È giusto ricordare qui che allo studio dei progetti, alla direzione dei lavori e alle prove collaborò instancabilmente il primo Tenente di Vascello *M. Zambon*, a cui si deve la continua diretta assidua sorveglianza di tutto quanto si fece a Coltano nel periodo della costruzione e del montamento. A lui è succeduto, fin dal principio dell'esercizio, il Tenente di Vascello *G. Lubrano*, che ha curato con altrettanta abilità lo svolgimento del servizio e tutta la vita del Centro in questo suo primo anno. Gli ufficiali, destinati in varie epoche all'Istituto Elettrotecnico e Radiotelegrafico della R. Marina (Comandanti *F. Vicedomini, C. Casati, U. Sordina, P. Borgatti, U. Ruelle*, Capitano *A. Mendici*), pur attendendo ai loro doveri didattici, recarono utili contributi allo studio dei problemi tecnici, che man mano venivano posti dallo sviluppo dei progetti e dei lavori. In particolare il Comandante U. Sordina organizzò completamente il centro provvisorio di ricezione, diretto ora dal Comandante P. Borgatti, ed il compianto Sottotenente di Vascello *G. Del Santo* svolse il progetto magnetico dei grandi convertitori ad arco. La Direzione di Artiglieria ed Armamenti del R. Arsenale di Spezia, diretta dal Comandante *F. Ortalda*, con tutte le sue officine e particolarmente con l'Officina Radiotelegrafica diretta dal Comandante *G. Montefinale*, fu lo stabilimento di costruzione che fornì una gran parte del materiale ed in ispecie svolse i progetti costruttivi e la completa esecuzione dei convertitori ad arco coi loro accessori e delle strutture metalliche per i grandi isolatori degli stralli (Tenente R. T. *F. Buzzacchino* e Capo tecnico *E. Radice*), provvide alla massima parte degli acquisti, alla costruzione degli stralli e dei loro attacchi, all'attrezzamento dell'officina meccanica, alla costruzione di quadri e di apparecchi accessori, ecc. Il ricevitore per il servizio con l'America fu costruito, su progetto del Comandante *G. Pession*, presso la Radio Centocelle. La Direzione delle costruzioni dell'Arsenale di Spezia, diretta dal Colonnello *G. Vian* fornì strutture metalliche, collaborò allo studio della gabbia di montamento per i piloni, preparò la sistemazione del Diesel di riserva. Una parte assai importante, in quanto provvide alla redazione dei progetti e alla direzione dei lavori per tutti i fabbricati, per le fondazioni dei blocchi di base e degli ancoraggi dei piloni, per l'impianto idraulico, ecc., ebbe dapprima la Sezione Staccata dal Genio Marina a Livorno (Col. *A. Ricci*), cui succedette la Direzione autonoma di Spezia diretta dal Col. *F. Giambarda*, che affidò i lavori di Coltano al compianto Ten. Col. *G. Mondo* e poi al Ten. Col. *P. Nicoletti* con la collaborazione dell'Ing. *G. B. Spezia*. Sotto la loro direzione i progetti di competenza del Genio furono in buona parte svolti dal disegnatore geometra *T. Neri*. La direzione e la sorveglianza continua dei lavori (affidati in parte a varie imprese) fu esercitata dal principio alla fine, con intelligente ed instancabile attività, dall'assistente tecnico *P. Bertocchi*. L'Amministrazione dei Telegrafi (e in particolare la Direzione delle Costruzioni di Pisa, diretta dal Cav. *G. Frediani* e la Direzione locale di Livorno, diretta dal Cav. *A. Bordoni-Lilla*) ha provveduto a tutti i collegamenti per filo e alla fornitura ed installazione del materiale telegrafico e collabora efficacemente allo smistamento e istradamento del traffico in arrivo e in partenza per mezzo degli uffici di Roma, Milano, Livorno e Pisa, a cui si collegano direttamente gli uffici radio gestiti da personale della Marina a Coltano e a Livorno.

Nello studio della sistemazione idrica di tutta la zona occupata dal centro, in relazione con i grandi lavori di bonifica, si è avuto l'aiuto efficace ed amichevole della direzione di essi, affidata all'ing. *U. Todaro*. Nell'impianto dell'acqua potabile, nella delimitazione dei terreni, nella costruzione delle strade, ecc., è riuscita preziosa la collaborazione della direzione locale dell'Opera Nazionale per i Combattenti (direttore *A. Bogliolo*).

Particolarmente preziosa fu la consulenza del Prof. *G. Colonnetti* (direttore prima della R. Scuola d'Ingegneria di Pisa, ora del R. Politecnico di Torino) nei riguardi dei calcoli di stabilità dei piloni, che furono eseguiti dalla Società *Officine di Savigliano*. Oltre alla fornitura completa dei piloni, questa Ditta ha anche avuto parte nell'impianto elettrico con due gruppi convertitori ed un trasformatore. Il trasformatore e il gruppo convertitore principali sono del *Tecnomasio Brown Boveri*, che fornisce anche il gruppo di riserva. La Ditta *Marelli* ha in costruzione il trasformatore di riserva ed ha fornito parecchi macchinari ausiliari e aspiratori. L'alternatore di prova ad alta frequenza fu fornito dalla «*Franco Tosi*» (ora Comp. Gen. di Elettricità) che eseguì anche il progetto e l'offerta di un alternatore da 300 kW. Delle *Officine di Rivarolo* sono le pompe elettriche principali e secondarie, della Ditta *Magrini* i quadri così per la sala macchine come per la sala archi, della *Pirelli* e della *Società Conduttori Elettrici* i cavi interni e quelli sotterranei fra le due Radio. Gl'isolatori della grande antenna sono di fabbricazione straniera, (forniti, insieme con alcuni materiali per le chiavi di manipolazione, dalla Ditta *C. F. Elwell*) ma la *Ginori* ha intrapreso con successo la costruzione di isolatori analoghi, che vengono continuamente perfezionati e che hanno intanto permesso di isolare le draglie del nuovo aereo nord-ovest della stazione coloniale con isolatori italiani. La costruzione della linea a 30 kV fu eseguita dalla *Società Ligure-Toscana di Elettricità*, che fornì anche l'apparecchiatura per la cabina di trasformazione.

Il lavoro di montamento dei piloni è stato compiuto, con le solite mirabili doti di abilità e di abnegazione, dai nostri marinai, sotto la guida del Capitano Nocchiere *F. Barsella* e dei primi Nocchieri *P. Genovali* e *L. Antuono*, aiutati, per la chiodatura, anche da operai borghesi. Il montamento del macchinario, dei quadri e delle canalizzazioni, la costruzione di apparecchi accessori, la messa in opera e la condotta di tutta l'installazione sono state eseguite dal personale elettricista sotto la guida di abili Sottufficiali (*G. Pasquini, E. Novelli, C. Chiellini, G. Tavolieri, A. Guarini, M. Cappugi, C. Argento*). In tutti i lavori hanno avuto inoltre parte importante il capo carpentiere *V. De Martino* ed i capi meccanici *S. Strano* e *G. Sassi*. La condotta del servizio radio e telegrafico del Centro è stata tenuta dal personale radio e semaforista agli ordini di valenti capi posto (*A. Sbardellati, V. Catarzi*) e distinti Sottufficiali (*A. Gatto, G. Varricchio, M. Perugini, E. Rutigliano, C. Cristiani, E. De Cesare*). Tutti i lavori eseguiti a Coltano si sono svolti senza alcun incidente alle persone, che sia degno di rilievo e che abbia avuto comunque la benchè minima conseguenza.

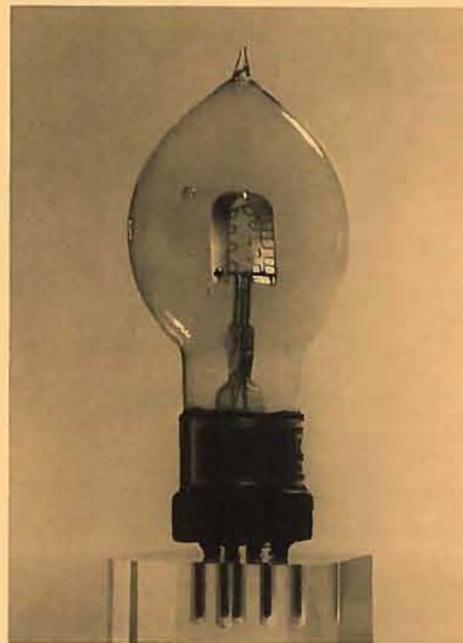
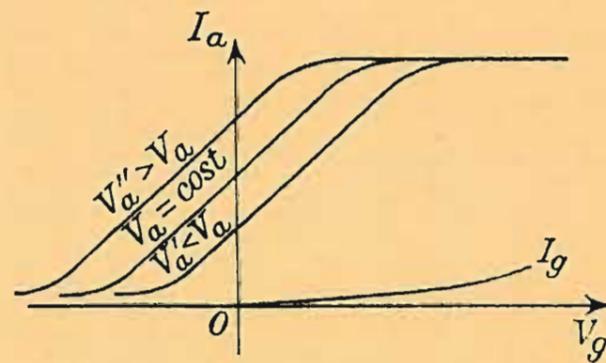
Sulla facciata della nuova Radio è stata murata, per ordine di S. E. l'Ammiraglio Duca Paolo Tahon di Revel, Ministro della Marina, una lapide che reca questa scritta:

LA REGIA MARINA

IDEAVA

COSTRUIVA E METTEVA IN ESERCIZIO

1920 - 1923

L'ing. Giancarlo VALLAURI
ritratto al microfono dell'EIAR
nel settembre 1942

Triodo Tipo VALLAURI - 1912

Rappresentazione
delle caratteristiche
di un triodo con filamento di tungsteno;
nella parte rettilinea
vale la relazione (VALLAURI):
Ia = a (Va + μVg + c)
dove *a* e *c* sono costanti

F_a = rumore aggiuntivo (eccess noise factor) dovuto al processo di moltiplicazione. È espresso generalmente come M^α dove α è una caratteristica del materiale con cui è realizzato il dispositivo.

L'espressione riportata per i dispositivi a valanga coincide con quella per i diodi pin quando si ponga:

$$M = F_a = 1$$

c) Rumore termico generato dai processi di amplificazione elettrica a cui viene sottoposto il segnale dopo la rivelazione. Il fotodiodo, infatti, essendo un generatore di corrente, viene chiuso su una resistenza di carico seguita da un amplificatore che ha lo scopo di portare il segnale di uscita a livelli adeguati. Il valor quadratico medio della corrente associata al rumore termico vale:

$$<I_{th}^2> = \frac{4 \cdot k \cdot T \cdot F \cdot B}{R_l}$$

dove:

k = costante di Boltzmann;
T = temperatura assoluta;
F = cifra di rumore dell'amplificatore;
B = banda equivalente di rumore;
R_l = resistenza di carico del fotodiodo.

4.2 Linearità dei dispositivi

In un sistema di trasmissione, gli elementi che hanno una funzione di trasferimento ingresso-uscita non lineare fanno nascere distorsioni armoniche e prodotti di intermodulazione tra i segnali. Tra tutti i componenti un sistema di trasmissione su fibra ottica (fotorivelatore, amplificatore a radiofrequenza...) il principale responsabile delle non linerarità è certamente il laser.

Recentemente il problema della non linearità dei laser è stato studiato a fondo e, proprio sotto la spinta delle applicazioni per CATV, sono stati sviluppati laser DFB ad elevata linearità per quanto riguarda la funzione di trasferimento Potenza-Corrente (bibl. 30 e 31). Anche in questo caso, come avviene per il *RIN*, l'eventuale potenza ottica rimandata indietro dal collegamento ha un effetto peggiorativo sulla linearità (bibl. 21). Per questo motivo i laser DFB ad elevata linearità sono provvisti di un isolatore ottico che protegge la cavità laser dal feedback ottico.

Quand'anche, però, la funzione di trasferimento Potenza-Corrente fosse perfettamente lineare al di sopra della corrente di soglia (I_s), rimarrebbe in ogni caso un fenomeno di limitazione dovuto alla soglia, dal momento che, ovviamente, la potenza ottica in uscita dal laser non può essere negativa. Se il segnale d'ingresso, sovrapposto alla corrente di polarizzazione (I_0), è di ampiezza tale da portare la corrente al di sotto della corrente di soglia, il segnale d'uscita risulta tosato in modo asimmetrico e quindi distorto (vedi figura 3).

Questo fenomeno è peculiare per i sistemi di trasmissione in fibra ottica che utilizzano diodi laser e deve quindi essere considerato separatamente rispetto alle ordinarie distorsioni causate da non linearità nella funzione di trasferimento ingresso-uscita dei circuiti elettrici.

Normalmente viene accettata una certa probabilità che il segnale d'ingresso porti sotto soglia il laser, andando a lavorare nella zona non lineare della caratteristica, ottenendo in questo modo una «sovramodulazione» della potenza ottica. Questo aumenta le prestazioni del collegamento in quanto, come si vedrà in seguito, il rapporto C/N al ricevitore dipende dall'ampiezza del segnale. Il miglioramento sul C/N è però controbilanciato dall'aumento nelle distorsioni e nei prodotti di intermodulazione. Esiste quindi un valore ottimo dell'ampiezza del segnale applicato al laser (dipendente dal numero di segnali che concorrono a formare il segnale complessivo e dal tipo di modulazione) che dà il miglior compromesso tra il C/N e le distorsioni (bibl. 21).

5. Indice di modulazione della potenza ottica

Nel caso di un segnale sinusoidale applicato al laser l'indice (o profondità) di modulazione della potenza ottica (spesso indicato come OMI: Optical Modulation Index) è definito, con riferimento alla figura 3a, come (bibl. 32):

$$m = \frac{P_{max} - P_0}{P_0}$$

m vale 1 quando $P_{max} = 2 \cdot P_0$ cioè quando la potenza ottica in uscita dal laser varia tra 0 e il valore P_{max}.

In presenza di un segnale SCM, formato dalla somma di più segnali, è possibile definire un indice di modulazione totale (m_{tot}) che, se si opera all'interno della zona lineare della caratteristica Potenza-Corrente, è dato dalla somma degli indici di modulazione dei singoli segnali ($m_{tot} = \Sigma m_i$). Dal momento che, generalmente, l'indice di modulazione è lo stesso per ciascun canale, si ha:

$$m_{tot} = m_i \cdot N$$

dove N è il numero di segnali che concorrono a formare il segnale SCM.

Se l'indice di modulazione di ciascun canale è tale da essere $m_i \leq 1/N$, non viene interessata la parte di caratteristica Potenza-Corrente al di sotto della soglia ed il segnale d'uscita non risulta tosato. Questa limitazione sul segnale d'ingresso è, però, piuttosto conservativa, ed è più vantaggioso accettare un aumento delle distorsioni non lineari aumentando m_i oltre il valore $1/N$ (bibl. 22).

Per definire la sovramodulazione si fa riferimento al modello lineare del laser. La figura 3b (tratta da bibl. 32) illustra il caso in cui N canali, ciascuno di ampiezza A, modulano il laser la cui zona lineare della caratteristica potrebbe accogliere solamente L canali sommati in ampiezza.

L'indice di modulazione per canale è, pertanto, $m_i = 1/L$, e l'indice di modulazione totale è $m_{tot} = m_i \cdot N = N/L$. Dal momento che $N > L$ si ha sovramodulazione, in quanto $m_{tot} > 1$.

In un sistema SCM è necessario tenere presente che le varie sottoportanti non sono, in genere, correlate e quindi le loro ampiezze si sommano con un effetto statistico, dando origine, per N sufficientemente grande, ad una distribuzione delle ampiezze di tipo gaussiano (bibl. 33). In questo caso, anziché all'indice di modulazione totale calcolato linearmente (m_{tot}), è più opportuno riferirsi ad un indice di modulazione totale a valor quadratico medio (rms) definito come:

$$m_{rms} = m_i \cdot \sqrt{N} = \frac{m_{tot}}{\sqrt{N}}$$

6. Rapporto segnale-rumore in ricezione

Per esprimere il rapporto C/N del segnale ricevuto, è conveniente fare riferimento alle correnti dopo la fotorivelazione. Il valor medio della corrente di segnale all'uscita di un fotodiodo è legata alla potenza incidente della relazione:

$$<I> = R \cdot P_r$$

dove R e P_r sono stati definiti precedentemente.

Nell'ipotesi di lavorare nella zona lineare del laser, la corrente rivelata associata ad ogni canale dipende dall'indice di modulazione m_i, che è una misura del rapporto tra la potenza di picco relativa ad ogni canale e la potenza media. Nel caso di segnali sinusoidali si può quindi esprimere il valor quadratico medio della corrente di segnale di ogni canale come:

$$<I_s^2> = \left[\frac{m_i \cdot R \cdot P_r}{\sqrt{2}} \right]^2$$

Il fattore $\sqrt{2}$ tiene conto del rapporto tra valore di picco e valor efficace della corrente. Nel caso di fotorivelatore APD la corrente di segnale deve essere ancora moltiplicata per M.

Combinando insieme il contributo di segnale e quelli di rumore ricavati in precedenza e generalizzando al caso di fotorivelatore APD, è possibile ottenere il rapporto tra la potenza di segnale e la potenza di rumore per ciascun canale in funzione della potenza ottica media ricevuta (bibl. 4):

$$\frac{C}{N} = \frac{0{,}5 \cdot m_i^2 \cdot R^2 \cdot M^2 \cdot P_r^2}{10_{RIN/10} \cdot B \cdot R^2 \cdot M^2 \cdot P_r^2 + 2 \cdot e \cdot B \cdot R \cdot M^2 \cdot M^{\alpha} \cdot P_r + 4 \cdot k \cdot T \cdot F \cdot B / R_l}$$

dove tutti i termini sono già stati definiti in precedenza.

La potenza media in ricezione è legata alla potenza del laser in trasmissione dalla attenuazione del collegamento ottico (α):

$$P_r = P_0 \cdot 10^{\alpha/10}$$

Utilizzando le precedenti relazioni è possibile fare alcune considerazioni sulla scelta dei componenti. Consideriamo i seguenti parametri:

P_0 = 0,5 mW;
RIN = -140 dB/Hz;
m_i = 0,2;
R = 0,7 A/W;
B = 55 MHz;
T = 300 °K;
F = 4 dB;
R_l = 50 Ω per APD, 500 Ω per pin.

La figura 4 riporta le due curve del C/N in funzione all'attenuazione ottica del collegamento per un fotorivelatore a diodo pin ($M = F_a = 1$) e per uno ad APD. Nel caso di APD si è posto $M = 10$ e $\alpha = 0{,}7$, valori caratteristici di un dispositivo in seconda finestra (lunghezza d'onda intorno a 1310 nm).

Nella zona di elevata attenuazione ottica, a cui corrispondono bassi valori di C/N, tra tutti i contributi di rumore il predominante è quello termico. Le curve assumono una pendenza 2, indicando come tra i termini a denominatore evidenziati nella formula precedente, i primi due siano trascurabili rispetto al terzo. In queste condizioni c'è la convenienza ad usare fotorivelatori a valanga anziché a diodi pin, in quanto i primi, grazie al loro guadagno interno, forniscono all'amplificatore un segnale elettrico di maggiore ampiezza.

7. Misure di tasso d'errore su collegamenti sperimentali a 17 Mbit/s

Sono stati predisposti banchi di misura per verificare le prestazioni dei sistemi SCM. In trasmissione sono stati utilizzati laser DFB sviluppati per applicazioni CATV, operanti alla lunghezza d'onda di 1,31 μm. Le caratteristiche principali di questi laser sono la elevata linearità ed il basso rumore. In ricezione sono stati provati, con prestazioni diverse, sia pin-fet che fotorivelatori APD.

Le misure di tasso d'errore sono state fatte su un segnale a 17 Mbit/s con codifica convoluzionale rate 1/2 e modulazione QPSK (bibl. 34). Al fine di creare il segnale SCM complessivo e simulare la distribuzione di 5 canali televisivi sono state sommate al segnale utile (a 70 MHz) altre 4 portanti non modulate alle frequenze di 100, 130, 160, 190 MHz aventi la stessa ampiezza. L'indice di modulazione di ciascun canale è quindi uguale. Simulazioni numeriche della rete (bibl. 35) mostrano che questa situazione è peggiorativa rispetto al caso in cui tutti i canali sono modulati.

I risultati ottenuti sono presentati come variazione del tasso d'errore sul bit dei segnali numerici (BER) in funzione della attenuazione ottica tra trasmettitore e ricevitore e dell'indice di modulazione della potenza ottica. Questo consente la ottimizzazione dell'OMI dal lato trasmittente ed un immediato dimensionamento della rete in termini di distanze raggiungibili e di numero di utenti che possono essere serviti con un solo laser.

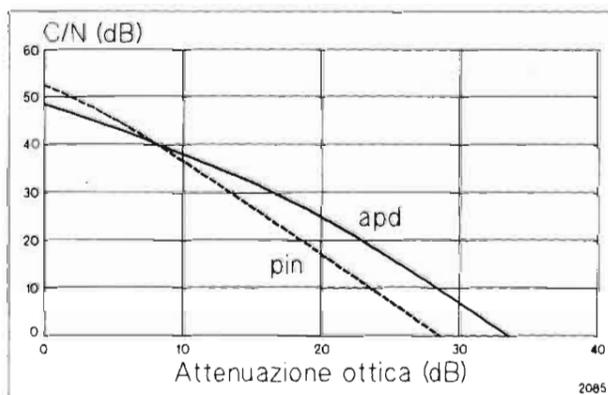



Fig. 4 — C/N in funzione dell'attenuazione ottica.

Sono state fatte dapprima verifiche sperimentali sulla variazione della probabilità di errore al variare dell'indice di modulazione ottico di ciascun canale (m_i) e successivamente sono state ricavate le prestazioni che deve avere la rete ottica posta in cascata ad un collegamento via satellite. La potenza media di emissione del laser era di 0 dBm, l'APD era polarizzato per avere un guadagno di 30.

RETI DI DISTRIBUZIONE IN FIBRA OTTICA IN TECNICA SCM PER SEGNALI HDTV NUMERICI

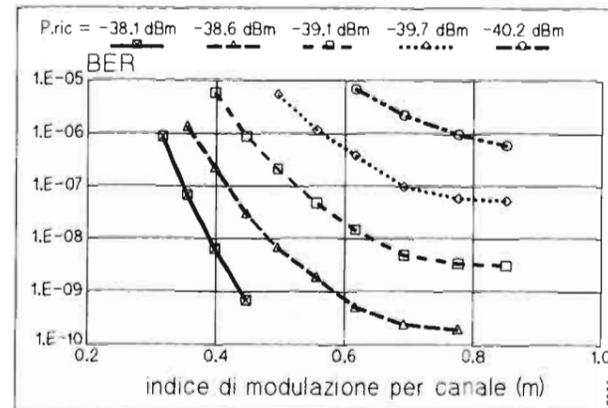



Fig. 5 — Tasso d'errore in funzione dell'indice di modulazione per canale (17 Mbit/s - modulazione QPSK - codifica convoluzionale rate 1/2).

In figura 5 sono riportate le prestazioni del collegamento al variare di m_i per diverse potenze ottiche ricevute. Da questi dati si può vedere come, mano a mano che cresce m_i, ci sia un effetto di saturazione, cioè ci sia un miglioramento nelle prestazioni sempre minore. Le curve indicano valori di m_i oltre i quali non è opportuno andare dal momento che non si ottengono miglioramenti nelle prestazioni. Chiaramente, è sempre possibile ottenere un aumento di prestazioni indipendentemente da m_i aumentando la potenza ottica ricevuta.

È importante ancora notare che i valori di m_i per cui le curve tendono a diventare orizzontali sono valori elevati (circa 0,7) corrispondenti ad un indice di modulazione lineare (m_{tot}) di circa 3,5 e ad un indice di modulazione totale a valor quadratico medio (m_{rms}) di circa 1,6. In questi casi si ha sovramodulazione, non solo considerando l'indice di modulazione lineare, ma anche considerando l'indice di modulazione rms. Valori così elevati di indice di modulazione sono peculiari delle modulazioni numeriche rispetto a quelle analogiche (AM o FM) (bibl. 36).

8. Esempi di reti di distribuzione con modulazioni QPSK

Nell'ipotesi di una rete di distribuzione in fibra ottica che parta dalla stazione centralizzata di ricezione da satellite, se si mantiene costante lo schema di modulazione e si effettuano solo operazioni di conversioni di frequenza per costruire il multiplex SCM, il segnale all'ingresso della rete in fibra ottica sarà già affetto da un degradamento causato principalmente dal collegamento via satellite e quindi la rete ottica dovrà essere dimensionata in modo da influire poco sul degradamento complessivo.

Le prestazioni richieste a questa rete saranno pertanto molto elevate e i tassi d'errore saranno di ordini di grandezza migliori di quelli ricavati nelle misure precedenti. Le considerazioni fatte finora sull'indice di modulazione della potenza ottica rimangono valide in ogni caso come si può notare dalle curve di figura 5, in cui gli effetti di saturazione si manifestano per tutte le curve a partire da un certo indice di modulazione in poi, indipendentemente dal valore della potenza ottica ricevuta. D'altra parte il problema dell'indice di modulazione si riferisce alle condizioni di funzionamento del trasmettitore ed è indipendente dal livello di rumore in ricezione, riducendo il quale si migliora il tasso d'errore ottenibile a parità di indice di modulazione.

Negli esempi sotto riportati è stato lasciato un certo margine di attenuazione sul collegamento ottico, per tener conto di eventuali incrementi di attenuazione del cavo ottico causati da interventi successivi alla posa e anche di variazioni nel tempo e della dispersione rispetto ai valori tipici delle caratteristiche dei componenti.

8.1 Rete di distribuzione per 5 canali QPSK 17 Mbit/s

È stata ipotizzata, per 5 canali, una rete di distribuzione in fibra ottica monomodale per utenti situati entro un raggio di circa 5 km dalla stazione di testa, utilizzando in trasmissione un laser operante in 2ª finestra (lunghezza d'onda nell'intorno di 1310 nm) ed in ricezione fotorivelatori APD. Le quattro portanti che simulano la presenza di più canali sono state poste a 95, 120, 145 e 170 MHz.

La rete ottica è stata dimensionata in modo da avere una penalità di circa 0,5 dB su E_b/N_0 rispetto al collegamento in loop modulatore-demodulatore per valori di BER intorno a $1 \cdot 10^{-7}$ (vedi figura 6). In queste condizioni la attenuazione ottica tollerata tra trasmettitore e ricevitore è di 36 dB.

La rete può quindi servire 512 utenti, considerando le seguenti attenuazioni tipiche:

collegamento tra stazione di testa ed utente (≈ 5 km):	2,5 dB
5 connettori ottici:	2 dB
divisore ottico per 32:	16 dB
divisore ottico per 16:	12,5 dB

L'attenuazione totale è di 33 dB, con un margine di sistema di 3 dB.

8.2 Rete di distribuzione per 5 canali QPSK 70 Mbit/s in cascata al collegamento via satellite

Con gli stessi componenti utilizzati per l'esempio precedente è stata simulata una rete di distribuzione per 5 canali QPSK 70 Mbit/s. Sono state fatte misure di tasso d'errore sia singolarmente sulla rete ottica, che sulla stessa

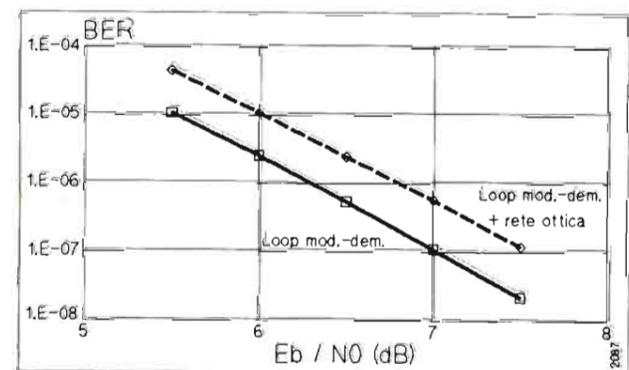



Fig. 6 — Peggioramento del BER dovuto alla rete ottica (17 Mbit/s - modulazione QPSK - codifica convoluzionale rate 1/2).

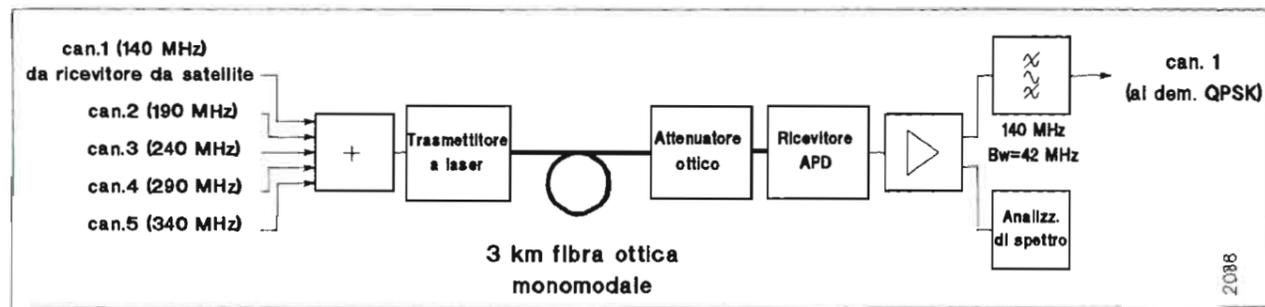



Fig. 7 — Rete di distribuzione per 5 canali QPSK 70 Mbit/s. Simulazione del collegamento verso un utente.

rete ottica posta in cascata al collegamento via satellite Olympus (canale 1 del pacco 30/20 GHz) realizzato per mezzo della stazione mobile TDS-7 della Telespazio. La tratta in salita è ad una frequenza di 30 GHz, mentre la ricezione è a 19,2 GHz.

L'uscita IF del ricevitore da satellite (a 140 MHz) è inviata ad un sommatore, a cui confluiscono altri 4 segnali spaziati in frequenza di 50 MHz. Il complesso dei 5 segnali viene inviato su un collegamento in fibra ottica, che simula una rete di distribuzione a stella passiva per 64 utenti. All'uscita del trasduttore ottico-elettrico il segnale viene amplificato e filtrato per riottenere il segnale a 140 MHz che viene inviato al demodulatore QPSK (vedi figura 7). Partendo da un bilancio di potenza di 28 dB, si ottiene un margine di sistema relativo alla rete ottica di 4,5 dB, tenendo conto delle attenuazioni ottiche valutate al paragrafo precedente e dell'inserimento di un divisore ottico per due (al posto del divisore per 16) che introduce 3,5 dB di attenuazione.

Le prestazioni dell'intero sistema (nel quale non tutti i componenti erano ottimizzati per la specifica applicazione) sono state ricavate inserendo rumore in IF in modo da valutare il margine di collegamento in termini di rapporto segnale/rumore in ricezione. Le prestazioni complessive del collegamento via satellite più rete di distribuzione in fibra ottica sono riportate in figura 8, paragonate al loop IF (modulatore-demodulatore) ed al collegamento satellite. L'E_b/N_0 relativo al collegamento via satellite è stato valutato in 14,9 dB.

Successivamente alle misure di tasso d'errore, è stato

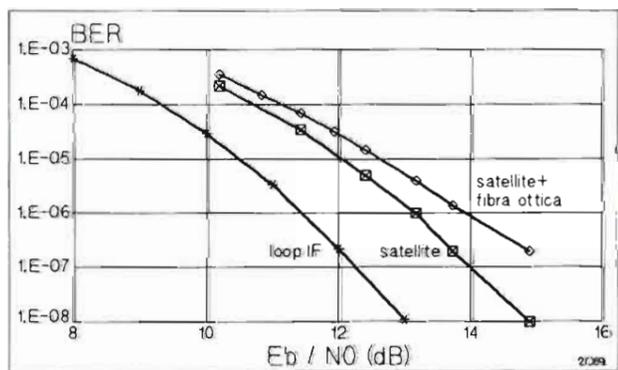



Fig. 8 — Prestazioni su canale satellite + fibra ottica (70 Mbit/s - modulazione QPSK-EIRP = 70 dBw, cielo quasi sereno)

inviato sul collegamento un segnale televisivo ad alta definizione tramite il codec HDTV EU256. La qualità soggettiva del segnale televisivo, valutata con la scala di degradazione a 5 livelli CCIR, era uguale a 5 per tassi d'errore inferiori a circa $5 \cdot 10^{-5}$, diventava 4 per tassi d'errore di circa $1 \cdot 10^{-4}$ e peggiorava poi rapidamente per tassi d'errore più elevati.

9. Conclusioni

La tecnica di multiplazione SCM con modulazioni numeriche delle sottoportanti consente di realizzare un sistema di distribuzione di segnali televisivi ad alta definizione ed elevata compressione di banda su una rete ottiva passiva.

Sia la forma della rete che la tecnica di multiplazione permettono ulteriori futuri sviluppi in termini di qualità e quantità dei servizi forniti all'utente ed anche in termini di dimensioni geografiche della rete. La stessa rete può essere utilizzata anche per servizi interattivi e per la realizzazione della rete integrata a larga banda. La potenzialità delle fibre ottiche monomodali è molto elevata e può consentire un graduale passaggio verso tecniche completamente numeriche e verso i sistemi ottici coerenti. L'impiego di amplificatori ottici, infine, permette di estendere le dimensioni della rete ed il numero di potenziali utenti.

Nel lavoro presentato sono state condotte alcune verifiche sperimentali su reti in fibra ottica per la distribuzione agli utenti dei segnali ricevuti nella stazione centralizzata di ricezione da satellite con segnali a 17 Mbit/s e 70 Mbit/s e modulazioni QPSK. I risultati ottenuti sono suscettibili di miglioramenti, in quanto alcuni componenti del sistema non erano ottimizzati.

Per quanto concerne il tipo di modulazione, potrebbe essere interessante studiare schemi di modulazione più complessi, come ad esempio il QAM multilivello, soprattutto in vista di una migliore utilizzazione della larghezza di banda disponibile e della possibile trasmissione su una rete in cavo coassiale (ad esempio all'interno di un condominio o di una abitazione) posta in cascata alla rete in fibra ottica. In questo caso, su tutta la rete di distribuzione (in fibra ottica e in cavo coassiale) verrebbe mantenuto costante il tipo di modulazione. Anche se l'informazione è trasferita sotto forma di livelli di ampiezza, la modulazione QAM è pur sempre di tipo numerico, e quindi relativamente meno critica nei riguardi delle non

linearità del sistema rispetto alla modulazione d'ampiezza analogica (bibl. 37).

Parallelamente al lavoro sperimentale è stata effettuata la simulazione del sistema trasmissivo tramite il pacchetto applicativo «Topsim IV» del Politecnico di Torino. Sono stati sviluppati nuovi moduli software per la simulazione della curva potenza-corrente del laser, del collegamento ottico e del fotorivelatore. Sono state esaminate modulazioni QPSK e 16-QAM con e senza codifica convoluzionale, considerando sia la singola rete in fibra ottica che la stessa rete posta in cascata ad un collegamento via satellite. I risultati di queste simulazioni, che consentono un immediato dimensionamento della rete in termini di numero di utenti che possono essere serviti e di distanze raggiungibili, verranno presentati in un prossimo articolo su questa rivista.

(4112)

BIBLIOGRAFIA

1. - V. SARDELLA: *Fibre ottiche ed informazione: il caso Rai.* «Atti della conferenza Fibre Ottiche anno 2000». 18-19 Genn. 93-Milano. Istituto di Ricerca Internazionale.
2. - G. B. GREBORIO, V. SARDELLA: *Italia '90: collegamenti in fibra ottica per HDTV.* «Elettronica e Telecomunicazioni», n. 3, 1990, pag. 144.
3. - A. GILARDI ET AL: *Reti di TV via cavo.* «HI-Telecom», anno 1, vol. 2/3, Sett.-Ott. 92, pag. 60.
4. - J. A. CHIDDIX ET AL.: *AM Video on Fiber in CATV Systems: Need and Implementation.* «IEEE Journal on selected areas in communications», vol. 8, n. 7, Sep. 90, pag. 1229.
5. - K. FUJITO: *Analog Optical Transmission for CATV.* «ECOC-IOOC '91», vol. 2, pag. 117.
6. - B. COSTA, A. LUVISON: *Reti di distribuzione in fibra ottica.* «OptoLaser», anno 6, n. 1, marzo '93, pag. 12.
7. - A. MONCALVO ET AL.: *Introduzione delle fibre ottiche nella rete di distribuzione: servizi, tecniche e architetture.* «OptoLaser», anno 6, n. 1, Marzo 93, pag. 14.
8. - J. R. STERN: *Prospects for passive optical network.* «ECOC-IOOC '91», vol. 2, pag. 134.
9. - AA.VV. *Reports to the Euroopean launching group on the prospects for digital terrestrial television.* «WGDTB 1063», Novembre 1992.
10. - M. COMINETTI ET AL: *Study on High-Definition Television Satellite Services.* «Phase 2, Final Report, ESA/ESTEC Contract 9100/90/NL/PM». July 1992.
11. - G. MOSSOTTO: *Evoluzione verso le reti di comunicazione a larga banda.* «Alta Frequenza», vol. III, n. 1, Gen.-Mar. 91, pag. 3.
12. - L. G. CUTHBERT, E. TORREMANS: *Broadband ATM Local Networks: Evolution and Distribution.* «Integrated Broadband Services and Networks», 15-18 Oct. 90, pag. 17.
13. - C. LIN ET AL: *Optical-fiber amplifiers make broadband fiber networks practical.* «Laser Focus World», Feb. 91, pag. 161.
14. - B. T. DEBNEY ET AL: *The Application of Optical Coherent Multichannel Techniques to Future Broadband Networks.* «Integrated Broadband Services and Networks», 15-18 Oct. 90, pag. 264.
15. - R. OLSHANSKY ET AL: *Subcarrier Multiplexed Coherent Lightwave Systems for Video Distribution.* «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 90, pag. 1268.
16. - S. S. WAGNER, R.C. MENENDEZ: *Evolutionary Architectures and Techniques for Video Distribution on Fiber.* «IEEE Communication Magazine», Dec. 89, pag. 17.
17. - P. A. ROSHER ET AL: *Broadband Video Distribution over Passive Optical Network using Subcarrier Multiplexing Techniques,* «Electronics Letters», 19th Jan. 1989, vol. 25, n. 2, pag. 115.
18. - P.A. DAVIES, Z. UREY: *Subcarrier Multiplexing in Optical Communication Networks,* «Electronics & Communication Engineering Journal», Apr. 1992, pag. 65.
19. - K. ALAMEH, R. A. MINASIAN: *Ultimate Limits of Subcarrier Multiplexed Lightwave Transmission.* «Electronics Letters», 4th Jul. 1991, vol. 27, n. 14, pag. 1260.
20. - T. E. DARCIE: *Subcarrier Multiplexing for Lightwave Networks and Video Distribution Systems,* «IEEE Journal on Selected Areas ind Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 1990, pag. 1240.
21. - K. ALAMEH, R.A. MINASIAN: *Optimum optical Modulation Index of Laser Transmitters in SCM System,* «Electronics Letters», 2nd Aug. 1990, vol. 26, n. 16, pag. 1273.
22. - A.A.M. SALEH: *Fundamental Limit on Number of Channels in Subcarrier-Multiplexed Lightwave CATV Systems,* «Electronics Letters», 8th Jun. 1989, vol. 25, n. 12, pag. 776.
23. - P. M. HILL, R. OOLSHANSKY: *A 20-channel optical communication system using subcarrier multiplexing for the transmission of digital video signals,* «Journal of Lightwave Technology», Vol. 8, n. 4, april 1991, pag. 554.
24. - R. OLSHANSKY, G. JOYCE: *Compressed digital video for the subscriber loop.* 18th «European Conference on Optical Communication, ECOC '92», Vol. 1, paper WeA11.4, pag. 581.
25. - K. MAEDA ET AL: *BER characteristics of 16QAM in an AM/QAM hybrid optical transmission system,* «OFC/IOOC '93 Technical Digest», paper ThL2, pag. 220.
26. - Q. SHI: *Performance of M-ary QAM in Hybrid AM/QAM multichannel lightwave transmission with and without coding,* «OFC/IOOC '93 Technical Digest», paper ThL3, pag. 221.
27. - R. H. WENTWORTH: *Performance of single-laser split-band analog video systems,* «OFC/IOOC '93 Technical Digest», paper ThL4, pag 223.
28. - G. JOYCE, R. OLSHANSKY: *Differential QPSK transmission system for 80 compressed digital video channel,* «OFC/IOOC '93 Technical Digest» paper ThL5, pag. 224.
29. - G. W. TOMASELLI: *Analisi delle caratteristiche spettrali e di rumore dei diodi laser DFB in presenza di riflessioni ottiche esterne.* Tesi di Laurea. Università degli studi di Torino, Facoltà di Scienze M.F.N., Corso di Laurea in Fisica. Mar. 91.
30. - A. TAKEMOTO ET AL: *Distributed Feedback Laser Diode and Module for CATV System,* «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 90, pag. 1359.
31. - T. E. DARCIE ET AL: *Fiber Optic device Technology for Broadband Analog Video Systems* «IEEE LCS», Feb. 90, pag. 46.
32. - F.V.C. MENDIS, B. T. TAN: *OverModulation in Subcarrier Multiplexed Video FM Broad-Band Optical Networks.* «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 90, pag. 1285.
33. - M. MAEDA, M. YAMAMOTO: *FM-FDM Optical CATV Transmission Experiment and System Design for MUSE HDTV Signal.* «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 90, pag. 1257.
34. - B. SACCO, M. TABONE: *QPSK Modem with Rate 1/2 Convolutional Code.* Rai, Centro Ricerche, Technical Report n. 90/3/E, Aug. 1990.
35. - L. GASTALDI: *Effetti della non linearità del laser in reti di distribuzione in fibra ottica per segnali HDTV numerici.* Tesi di laurea, Politecnico di Torino, Facoltà di ingegneria, Dic. 1992.
36. - A. PROFUMO: *Sistemi ed apparati per reti ottiche passive.* «OptoLaser», anno 6, n. 1, marzo '93, pag. 41.
37. - N. KANNO, K. ITO: *Fiber-Optic Subcarrier Multiplexing Video Transport Employing Multilevel QAM.* «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», vol. 8, n. 7, Sep. 1990, pag. 1313.

NOTIZIARIO

Da comunicazioni pervenute alla Redazione

NUOVI PRODOTTI PER FDDI — AT&T Microelectronics ha aggiunto due nuovi componenti al suo catalogo di prodotti per rete FDDI (Fibre Distributed Data Interface). Il transceiver ODL 1402U per FDDI è stato appositamente progettato per operare in reti locali (LAN) e comunicazioni a distanza di tipo punto punto (fino ad una lunghezza massima di 3 km). Il transceiver ODL 1406U è stato viceversa progettato per operare su reti di tipo WAN (Wide Area Network) e sistemi SDH, quindi per trasmissioni a lunga distanza. Una caratteristica essenziale del dispositivo ODL 1402U è quella di poter essere utilizzato in applicazioni particolarmente critiche, quali reti di tipo finanziario e reti militari. Il chip in oggetto è in grado di trasmettere dati con velocità variabili da 10 a 125 Mbit/s, operando con una tratta tipica di 3 km. Il chip è completamente compatibile con la normativa FDDI e con le logiche ECL 10KH e 100KH, ed è stato progettato per operare con bassa dissipazione. Utilizzando il chip ODL 1406U insieme allo ODL 1402U, ad un fotodiodo e ad un laser da 1,35 nm, si può realizzare un sistema optoelettronico di trasmissione dati in grado di coprire fino a 15 km. Il transceiver opera ad una velocità di trasmissione dati che va da 10 a 156 Mbit/s, consentendo la sua utilizzazione in applicazioni di tipo non specifico.

Per quanto concerne le possibili applicazioni, possiamo poi osservare che il chip ODL 1406U può essere utilizzato, oltre che per reti LAN e WAN, per realizzare concentratori, workstations, hub, sistemi SDH (STM-1) e sistemi ATM. Sia il chip ODL 1402U che il chip ODL 1406U vengono forniti in contenitori standard da 22 pin e possono essere connessi direttamente con connettori per cavi FDDI. Anche in termini di contenitori, questi prodotti sono completamente compatibili con gli standard FDDI e richiedono una sola alimentazione di 5 volt. (4115)

IL TELEFONO: LA TUA FANTASIA — Lo sapevate che la musica d'attesa può essere emessa anche da un normale apparecchio telefonico? E sapevate che, sempre da un comune telefono munito di apposito display, è possibile leggere la durata della conversazione in corso? Oppure che tramite codice riservato è possibile escludere l'apparecchio da chiamate in teleselezione, come pure memorizzarvi, ma senza registratore, dei brevi messaggi da inoltrare in linea?

Queste non sono che alcune delle svariate funzioni integrate nei telefoni di nuova generazione, quali si possono rilevare dal catalogo Goldatex della GBC Italiana, un piacevole volumetto di una cinquantina di pagine riccamente illustrate, che ci aggiorna su quanto di meglio metta a nostra disposizione la più recente tecnologia telefonica.

Ma al di là dei telefoni, semplici o multifunzione e tutti dalla piacevole linea, il catalogo presenta numerose segreterie telefoniche con o senza telefono: centralini fino a 9 linee interne e con svariate funzioni aggiuntive; un evoluto Personal Facsimile; interfonici a onde convogliate sulla rete d'energia o in radio frequenza; e un'attesa serie di accessori dai più semplici — spine, cavi, prolunghe — ai più complessi, quali comandi a distanza, registratori di telefonate, moduli aggiuntivi per centralini.

Sono tutte proposte indirizzate sia all'utenza domestica (il privato che intende elevare e personalizzare il livello del proprio servizio telefonico di base), che all'ufficio di piccole e medie dimensioni. Ma oltre all'ampiezza dell'offerta, colpisce, nello stimolante catalogo della GBC Italiana, l'aggiornato contenuto tecnologico/funzionale delle apparecchiature, evidente frutto dei decenni di attività della Casa nel seguire lo sviluppo mondiale del settore telefonico e nel proporre al mercato italiano le migliori soluzioni oggi disponibili, non disgiunte dal gradevole aspetto, dall'alta affidabilità e dall'immediatezza dell'installazione.

Ma, di elevato rilievo, anche l'eccellente rapporto prezzo prestazioni di ciascuna apparecchiatura proposta. Leggiamo infatti, ad esempio, nella presentazione del personal Facsimile: «L'apparecchiatura racchiude in sè caratteristiche funzionali che possono essere riscontrate solo sugli apparecchi più evoluti, pur presentando una notevole economia nel costo». (4101)

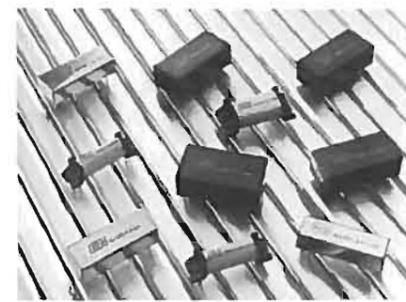
FAX CIFRATI PER TRASMISSIONI IN CONFIDENZA — Cylink Limited (In Italia: Selesta Networks S.p.a., Cologno Monzese-MI) ha lanciato SecureFX, un'unità di crittografia stand alone per facsimile che protegge documenti riservati trasmessi da qualsiasi fax Gruppo 3. SecureFX funziona nella procedura fax di sincronizzazione per proteggere la trasmissione o la ricezione di documenti senza ridurre minimamente la velocità o le prestazioni dell'apparecchio fax.

«Le trasmissioni facsimile possono costituire il punto debole nella sicurezza di una società. Mentre si è spesso cauti nel dare informazioni riservate per telefono, frequentemente vengono trasmesse per fax informazioni quali quotazioni, dettagli di determinazione dei prezzi, contratti e documenti legali, nonché altre informazioni molto riservate di natura commerciale e personale», ha spiegato David Moseley, direttore generale della Cylink.

«Le informazioni che possono essere ottenute dall'intercettazione di trasmissioni fax sono spesso di maggiore utilità all'intercettatore di quelle che possono essere carpite dall'intercettazione di una conversazione telefonica, e quindi corrono il rischio di essere esaminate e rivelate. Tale rischio viene aggravato dalla comune disponibilità di prodotti progettati appositamente per l'intercettazione inosservata di trasmissioni fax in arrivo e in uscita».

La possibilità di formare gruppi chiusi di utenti è un'ulteriore misura di sicurezza offerta dalla SecureFX. Gli utenti possono comunicare con altri apparecchi facsimile nello stesso gruppo chiuso, utilizzando tecniche di identificazione, ma non possono trasmettere o ricevere dati da fax che non fanno parte del gruppo.

L'unità può essere configurata per trasmettere o ricevere dati cifrati o in chiaro e può essere configurata per ricevere solo dati cifrati, eliminando così la ricezione di fax non autorizzati quali «fax da cestinare».

L'unità SecureFX è stata progettata sia per il funzionamento a pulsante singolo, sia per quello a mani libere. L'unità viene installata fra il facsimile e la linea telefonica mediante cavi telefonici standard RJ11 — non sono necessari altri collegamenti al fax. La SecureFX può anche essere utilizzata per la crittografia di trasmissioni fax create elettronicamente. (4097)

RELÈ — Relè reed a secco o relè reed a mercurio ed una vasta varietà di opzioni di assemblaggio, terminazioni, configurazioni di contatto e tensioni di bobina, fanno sì che i relè Gentech della Serie G40/50 forniscano la massima scelta in un'unica gamma.

Sia i relè reed a secco che quelli a mercurio sono disponibili in custodia aperta, contenitore metallico o in costruzione completamente incapsulata ed offrono tensioni di bobina di 5, 6, 12, 24 e 48V cc, con protezione opzionale diodo e poli di terminazione a sfalsamento o in linea.

I relè reed a secco G40/50 includono Forme A, B e C a configurazioni multi contatto, con commutazione ad alta tensione, isolamento ad alto contatto e resistenza a basso contatto stabile per telecomunicazioni, apparecchiature di collaudo automatiche ed applicazioni per acquisizione dati.

I relè reed a mercurio forniscono bassa resistenza, contatti privi di saltellamenti e una durata di contatto di 50 milioni di operazioni a carico nominale. Le configurazioni di contatto comprendono Forma A 2-5 poli, Forma B 1 polo e Forma C 2-3 poli.

Commutazione massima di 350V cc, 1 amp, 50 watt viene offerta da relè a mercurio e dalla gamma dei relè reed a secco da 100v cc, 0,3 amp, 3 watt Forma C, a 500 V cc, 1 amp, 15 watt Forma A ad alta tensione. (4061)

SCANNER GT-6500 — 16,7 milioni di colori o 256 livelli di grigio in un solo passaggio, acquisizione a 300 dpi per un output selezionabile da 50 a 600 dpi: il nuovo scanner GT-6500 conferma la via scelta da Epson (viale F.lli Casiraghi 427 - Sesto S. Giovanni, MI) di una presenza molto forte nell'area delle periferiche specializzate.

Epson GT-6500 si colloca come eccellente sostituto del precedente GT-6000, lo scanner che ha conquistato la più significativa quota del mercato (fonte: B.I.S.), e arricchisce la gamma degli scanner Epson affiancandosi al più professionale GT-8000, che con la sua acquisizione a 400 dpi (fino a 800 in output) entra in un segmento più specialistico.

Le caratteristiche del GT-6500, oltre a rappresentare l'ideale per Desktop publishing e image processing semiprofessionale, incorporano felicemente anche preziose opzioni come il Lettore di Diapositive e l'Automatic Document Feeder (utilizzabili anche nel GT-8000), che lo renderanno particolarmente adatto anche per applicazioni multimediali di database ipertestuali o per acquisire un numero rilevante di originali in modo del tutto automatico.

Grazie all'alta velocità di scansione, all'interfaccia SCSI (oltre alla parallela bidirezionale e seriale) e ai driver software in dotazione, da Twain a quelli per i programmi più diffusi oggi sul mercato e a numerosi moduli plug-in, il GT-6500 è subito operativo e può essere integrato in qualsiasi ambiente, sia MAC che MS-DOS/Windows. (4068)

PATENTI: IL COMPUTER AIUTA A RISOLVERE I NUOVI QUIZ — Terrorizzati dai nuovi quiz e dal nuovo codice della strada? Niente paura. Un nuovo sistema computerizzato per aiutare gli allievi nella preparazione degli esami di teoria per la patente auto è stato annunciato dalla Bull (in Italia: v. G. M. Viola 11 - Milano). Si chiama SIDA (Sistema Informativo Autodidattico per le Autoscuole) e, proprio in queste ultime settimane, è stato adottato da un centinaio di scuole guida.

Basato su personal computer, si avvale delle più moderne tecniche di istruzione assistite dall'elaboratore ed è facilissimo da usare. Poche e semplici istruzioni alla tastiera, ovviamente guidate da messaggi che compaiono al video, e l'allievo può tuffarsi nel nuovo codice della strada tramite sessioni di studio interattive, ove cioè il dialogo con l'elaboratore è alla base del percorso di apprendimento. E, analogamente, ecco poi — e non solo per gli allievi più ansiosi — il training vero e proprio all'esame di teoria, con la somministrazione su video di schede quiz autentiche, la segnalazione contestuale degli errori con le relative spiegazioni, la valutazione complessiva della singola prova, la simulazione dell'intero esame di teoria.

Capace di attrarre gli allievi più giovani, e comunque di bandire la noia da aule spesso frequentate dopo il normale orario di lavoro, il nuovo «istruttore elettronico» consente altresì di innovare l'organizzazione delle stesse scuole guida. Funzionante su uno o più personal Zenith DS variamente connessi, SIDA permette infatti, fra le altre cose, la realizzazione sia di aule computerizzate, sia di collegamenti con monito TV per lezioni integrative di taglio tradizionale. Anche per questo, UNASCA (Unione Nazionale Autoscuole e Studi di Consulenza Automobilistica) e FEDERTAAI (Federazione dei Titolari di Agenzia e Autoscuola Italiani) già hanno siglato con Bull accordi quadro per la fornitura agli associati di SIDA a condizioni particolari. (4065)

SOFTWARE PER UN'ANALISI DEI DATI DI AEREI — Il software di monitoraggio dei parametri BUS-69028 della DDC (in Italia: v. Sardegna, 1 - Milano) consente l'analisi dei dati grezzi trasmessi da un sistema databus Mil-Std-1553. Il software si distingue da altri pacchetti che funzionano solo ad un livello di protocollo inferiore come la codifica e la temporizzazione dei messaggi.

La Mil-Std-1553 consiste di un sistema di trasmissione dati seriale ridondanti e due fili usati nella maggior parte degli aerei militari moderni e dei missili nonché da molti veicoli da combattimento, navi e navi spaziali. Il Bus-69028 funziona in concomitanza con la scheda BUS-65517II compatibile PC al fine di fornire un esame dettagliato dei dati che vengono trasmessi dal bus. Ad esempio, i dati relativi alla velocità o alla rotta dell'aereo possono essere esaminati per un determinato periodo di tempo e le condizioni di marker e di allarme possono essere collegati agli eventi.

Il BUS-69028 è usato come strumento di analisi, di test e di simulazione da parte di tecnici di manutenzione o di integratori di sistemi in applicazioni che vanno da un semplice sistema ad un completo aereo, nave o autoveicolo EMS1636/2.

Il software, che lavora in ambiente MS-DOS, è guidato da menu. Tutti i parametri da 1 a 32 bit possono essere interi con o senza segno, virgola mobile IEEE, Mil-Std-1750A, virgola mobile Data General, segno e grandezza o binari offset.

Sono possibili conversioni di unità in tempo reale nonché vari criteri di rilevamento di allarmi ed elaborazioni in tempo reale. I dati possono essere registrati su disco e quindi riprodotti. Le funzioni di grafico a barre a colori a display a colori consente all'utente di visualizzare l'informazione, i dati della temporizzazione e gli eventi.

Per informazioni più dettagliate rivolgersi a Microelit S.p.A., Via Sardegna 1, 20146 Milano. (4074)

VIDEO DECODER MPEG — LSI Logic Corporation (Kronstadter Strasse 9 - München 80) ha annunciato oggi il primo Video Decoder MPEG sul mercato, ottimizzato per la ricezione di segnali televisivi in formato digitale compresso. Il nuovo decoder MPEG L64112, diversamente da prodotti concorrenti, integra molte caratteristiche speciali in una soluzione single chip riducendo così drasticamente i costi del sistema e facilitando il progetto di applicazioni «Broadcast». L'L64112 è in grado di fornire segnali con componente video di elevata qualità (CCIR601), e fornisce la tecnologia per sviluppare un sistema con 500 canali basato sui cavi televisivi esistenti. Il dispositivo può essere usato nei ricevitori per TV via cavo sia a livello di terminazione del cavo stesso, che come parte dell'apparato collegato al singolo ricevitore TV, nei sistemi di ricezione via satellite, nei ricevitori per CATV di tipo Wireless, nei ricevitori di Video-su-Richiesta collegati alla linea telefonica, nei sistemi Televisivi per utenza affari, nei sistemi TV di tipo educativo, e nelle applicazioni video di tipo consumer come i video dischi laser, i VCR digitali, il CD-I, il CDTV, il Karaoke digitale e le schede per PC di tipo multimediale.

«Per fornire più di 500 canali su un singolo cavo, la maggior parte delle aziende dell'industria radiotelevisiva stanno oggi adottando lo standard di compressione MPEG», ha detto Kevin Mapplebeck, Director Tactical Marketing di LSI Logic. «Noi crediamo fermamente che il nostro Video decoder MPEG ad elevata integrazione sia uno dei dispositivi chiave richiesti per soddisfare i crescenti requisiti di queste stesse aziende».

Oltre a decomprimere i segnali video in formato MPEG, l'L64112 integra molte altre funzioni di un sistema televisivo su un singolo chip: ciò assicura gli alti volumi, il prezzo di produzione contenuto e le condizioni di manutenzione e servizio necessari per le applicazioni video di tipo consumer. La praticità e semplicità della soluzione basata su questo dispositivo riduce ulteriormente i costi di sviluppo e i tempi di introduzione sul mercato di nuovi prodotti. L'L64112 non richiede alcuno sviluppo di microcodice, nessuna logica di controllo per DRAM o di distribuzione dei flussi dati del sistema MPEG, e non richiede inoltre componenti addizionali per generare i segnali di temporizzazione video.

Il decoder video L64112 è progettato per fornire una soluzione single chip senza logica aggiunta per applicazioni in ricevitori speciali da porre tipicamente sopra all'apparecchio TV. Il dispositivo accetta canali dati codificati in seriale o parallelo direttamente da un sottosistema demodulatore o da un microcontrollore a 8 bit a una velocità media di 15Mbps. Estrae quindi il flusso dati video MPEG dal flusso complessivo di sistema MPEG ed effettua un controllo d'errore prima di decomprimere completamente i dati video. Il chip fa uscire i dati video digitali in formato interlacciato o progressivo insieme con i segnali di sincronismo orizzontale e verticale. Questa interfaccia d'uscita digitale YUV si connette direttamente alla maggior parte dei codificatori NTSC/PAL presenti sul mercato. L'L64112 dispone di un buffer di canale e di un buffer di controllo display completamente integrati e supporta una connessione diretta a DRAM standard per la ricostruzione del quadro (frame). L'unico dispositivo esterno richiesto con il video decoder L64112 è un poco costoso controllore a 8 bit impiegato per il testing, l'inizializzazione e il controllo dello stato del dispositivo e un DRAM di tipo standard per memorizzare i dati del canale e del video. Tutto ciò semplifica il progetto di sistema, le verifiche funzionali e il processo di produzione.

L'L64112 è dotato di molte caratteristiche che lo configurano come una vera e propria soluzione «completa» per i sistemi video impiegati in ambito Broadcasting; si elimina così la necessità di acquistare componenti addizionali, e si riduce il costo complessivo del sistema. Tra queste caratteristiche menzioniamo il Pulldown 3:2, la rivelazione e la correzione di errore, la risoluzione programmabile fino al formato CCIR601 sia per il PAL che per l'NTSC, la presenza di segnali di sincronismo video, un meccanismo di recupero della frequenza corretta, un modo di funzionamento 16:9 e infine uscite video interlacciate o progressive. Inoltre, caratteristiche quali il supporto sul chip del sincronismo audio/video, la correzione della base dei tempi, la commutazione di canale, i canali virtuali, i dati teletext, un meccanismo anti copiatura, ecc. rendono questo dispositivo ideale per una vasta gamma di applicazioni televisive digitali.

L'L64112 è un dispositivo caratterizzato da elevatissime programmabilità e flessibilità. Tra i parametri programmabili troviamo la dimensione del quadro, la larghezza dell'impulso di sincronismo, le dimensioni e la posizione dell'immagine attiva, le modalità di gestione del quadro, le dimensioni del buffer di canale, ecc. La programmabilità di questi parametri aumenta enormemente la flessibilità del decoder per sistemi con differenti risoluzioni e caratteristiche del display. L'interfaccia di memoria è ottimizzata per DRAM standard a 1 bit e a 4 bit e i requisiti totali di memoria sono ugualmente programmabili con la risoluzione. Per un display pienamente CCIR601 (720×480) il totale della memoria esterna richiesta per memorizzare i dati del canale, i dati del display e un campo addizionale per il pulldown 3:2, è di sole quattro DRAM 4-bit (16 Mbit). Con il diminuire della risoluzione anche i requisiti di memoria diminuiscono.

L'L64112 è pienamente congruente allo standard MPEG1 ed è progettato avendo già in mente i requisti dell'MPEG2. La maggior parte dei segnali interni di controllo dell'L64112 è ottenuto attraverso microcodice e può così essere facilmente modificato da LSI Logic per adeguare il dispositivo alle specifiche MPEG2. Inoltre, l'interfaccia di memoria e la pipeline di ricostruzione dell'L64112 sono progettati per soddisfare i requisiti di prestazione dell'MPEG2. Attualmente l'64112 non decodifica un flusso dati MPEG2, tuttavia LSI Logic aggiornerà il progetto del L64112 per renderlo un vero e proprio decoder MPEG2 nel momento in cui il relativo standard diverrà stabile.

I primi prototipi dell'L64112 sono in contenitore MQUAD 208 pin a montaggio superficiale con una assegnazione dei pin ottimizzata per una connessione alla memoria su un singolo livello di piastra a circuito stampato. Le future versioni del dispositivo saranno disponibili in contenitore PQFP (Plastic Quad Flat Pack) a 160 pin. La combinazione di una soluzione sistemistica integrata su un singolo chip, di una gestione del display programmabile, di una architettura di memoria ottimizzata con connessione diretta a DRAM standard, di un progetto che potrà evolvere facilmente verso standard MPEG futuri, di una semplice interfaccia I/O e di un contenitore a basso costo a montaggio superficiale rende l'L64112 il dispositivo più conveniente per applicazioni digitali in ambito televisivo.

LSI Logic Corporation è un produttore di semiconduttori ad elevate prestazioni incluso tra le prime 500 aziende riportate dalla rivista Fortune, con una qualificata presenza negli Stati Uniti, in Europa, in Giappone e in Canada. L'azienda produce e commercializza microprocessori RISC secondo le architetture MIPS e SPARC, circuiti integrati per Applicazioni Specifiche (ASICs), circuiti integrati per l'elaborazione delle immagini e il trattamento digitale dei segnali (DSPs), chipset e prodotti grafici per PC di tipo IBM compatibile. L'azienda sviluppa e vende inoltre strumenti software di supporto alla progettazione. (4098)

MULTIPLEXER INTEGRATORE DI SERVIZI PER CIRCUITI E1 E FRACTIONAL E1 — L'FCD-24 della RAD Data Communications è un multiplexer che integra 4 canali dati ad alta velocità e un collegamento E1 per PABX in un'unica linea di giunzione E1. I canali ad alta velocità operano a velocità multiple di 64 o 56 Kbps, mentre i dati multiplati vengono trasmessi a pacchetto in *slot* temperali E1. La combinazione di un sottocanale E1 e di canali addizionali ad alta velocità offre una soluzione ottimale per integrare nell'ambito di un'unica linea E1 il collegamento trasmissivo E1 di un centralino privato (PABX) con i dati provenienti da altre fonti, usufruendo in questo modo delle tariffe più convenienti di questo servizio.

Equipaggiato con una LTU (Unità di terminazione linea) integrata opzionale, l'FCD-24 può essere usato come modem multicanale per brevi distanze (fino a 1,6 km). Il settaggio e il controllo si effettuano tramite il pannello anteriore o la porta di supervisione (terminale ASCII).

L'FCD-24 è compatibile virtualmente con tutti i servizi E1 rispondenti agli standard CCITT G.703, G.704 e G.732.

L'FCD-24 supporta sia 2 che 16 *frame* per *frame multiplo*. Per il canale principale sono disponibili le interfacce V.35, RS-530, X.21 o V.36/RS-422.

Il settaggio e il controllo si possono eseguire dal pannello frontale a cristalli liquidi utilizzando i tasti dedicati oppure da una porta di supervisione collegata ad un PC o ad un terminale ASCII. Attraverso la porta di supervisione dell'FCD-24 è possibile anche il funzionamento su circuito telefonico commutato per funzioni di telemonitoraggio e telemanutenzione. L'FCD-24 è disponibile come unità da tavolo o per il montaggio in rack standard da 19''. (4092)

SCHEDE DI ACQUISIZIONE IN TEMPO REALE MICROSTAR — La società AMPERE SpA di Milano annuncia la disponibilità delle schede di acquisizione per PC della MICROSTAR LABORATORIES della serie DAP 3200 e DATA ACQUISITION PROCESSOR.

A partire dal gennaio 1993 la potenza del processore INTEL 486/SX è disponibile su questa famiglia.

Sono disponibili due modelli: DAP3200e/101 e DAP3200e/102.

Ciascuna scheda è equipaggiata con un processore i486 e la differenza tra i due modelli è la memoria a bordo, rispettivamente di 1 e 4 Megabytes.

Come tutti gli altri modelli DAP (2400e e 1200e) le schede vanno inserite in un bus PC/AT/ISA di una piattaforma standard 286/386/486.

Il linguaggio di programmazione e il sistema operativo multitasking in real time DAPL (DATA ACQUISITION PROCESSOR LANGUAGE) versione 4.0 è incluso nei due nuovi modelli.

Queste schede mettono a disposizione una risposta in tempo reale senza precedenti: meno di mezzo millisecondo tra ingresso e uscita; ad esempio, in un algoritmo di regolazione PID, facilmente implementabile in quanto fa parte dei comandi base del DAPL, una variazione all'ingresso dà una risposta in uscita in meno di mezzo millisecondo.

La scheda DAP3200e, come tutte le altre schede MICROSTAR (serie 1200 e 2400) può gestire in maniera indipendente dal PC tutte le parti relative alla acquisizione dati e al controllo e tutte le operazioni di conversione AD e DA associate.

Il PC rimane libero per la gestione dell'interfaccia utente, la scrittura su disco e altre operazioni ad alto livello.

Una singola scheda DAP 3200e, con apposito hardware di espansione esterna, può acquisire fino a 512 canali analogici di ingresso e 128 ingressi digitali, può elaborare i dati acquisiti e può aggiornare fino a 66 analogici di uscita e 128 uscite digitali.

Due buffer ad alta velocità FIFO gestiscono il trasferimento dei dati da e verso il PC alla massima velocità permessa dal BUS del PC senza impegnare il DMA dello stesso.

Un protocollo di comunicazione tra il DAPL e il driver MICROSTAR residente sulla piattaforma PC, assicura il trasferimento dei dati in continuo e senza errori.

Questo approccio permette di poter associare sullo stesso PC fino a sette schede MICROSTAR senza significative restrizioni hardware e occupando una sola linea di interrupt.

Il risultato è un sistema di acquisizione sincronizzato con una massiccia capacità di calcolo in tempo reale su una singola piattaforma PC (eventualmente un altro 486) ed un mix di canali analogici e digitali gestiti ad una velocità globale superiore a 4 megasamples per secondo.

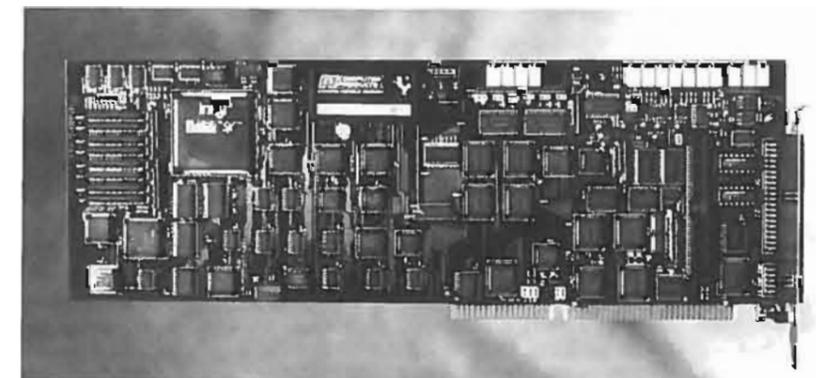
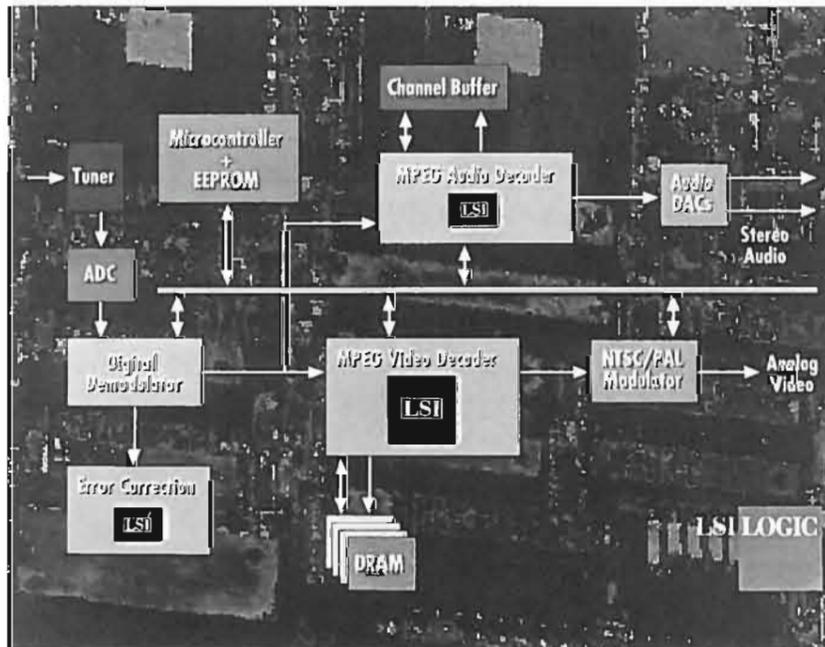
Le uscite analogiche possono essere aggiornate alla stessa velocità alla quale sono campionati gli ingressi e contemporaneamente.

In questa maniera un DAP 3200e può essere utilizzata come un sofisticato generatore di stimoli ad un sistema e, allo stesso tempo, misurarne la risposta.

Così come può campionare ad alta velocità, una scheda DAP3200e, può aggiornare le uscite ad una velocità ancora superiore.

Una velocità aggregata di 1.6 milioni di aggiornamenti al secondo può essere condivisa tra due uscite analogiche e fino a 16 uscite digitali.

L'ampia memoria disponibile permette di generare in uscita molti cicli di una forma d'onda generata arbitrariamente prima che il pattern sia ripetuto.

Il sistema operativo multitasking DAPL 4.0 include più di 100 comandi residenti a bordo della scheda, tra i quali comandi per l'analisi digitale dei segnali, filtratura, condizionamento e linearizzazione, generazione di triggers, allarmi, ecc. (4094)

ATTIVITÀ INTERNAZIONALE
nell'ambito della Diffusione Radiotelevisiva

a cura di R. CAPRA

CONFERENZA EUROPEA SMPTE '93
Milano Lacchiarella, 14-16 ottobre 1993

In occasione dell'IBTS (International Audio, Video Broadcasting and Telecommunications Show) si è tenuta, alla Fiera di Milano-Lacchiarella, dal 14 al 16 ottobre 1993, la Conferenza Europea SMPTE '93.

Le varie sessioni hanno affrontato argomenti di grande interesse nell'attuale fase di transizione dai sistemi analogici verso quelli numerici.

Alla sessione di apertura, introdotta dal moderatore Manlio Crucciati, Presidente della Sezione italiana dell'SMPTE, sono intervenuti:

— Irwin W. Young (Presidente dell'SMPTE) che, ricordando come la comunicazione sia una delle attività umane fondamentali, ha tracciato una breve storia della Society of Motion Picture Engingeers e delle sue finalità, concludendo con le parole del fisico J. Rober Oppenheimer «finché gli uomini saranno liberi di chiedere ciò che devono, liberi di dire ciò che pensano, liberi di pensare ciò che vogliono, la libertà non andrà mai persa e la scienza non tornerà mai indietro»;

— Gianfranco Barbieri (Direttore del Centro Ricerche RAI - Torino) che ha illustrato il panorama mondiale della comunicazione audiovisiva e dimostrato come questa costituisca una realtà in rapido cambiamento, analizzando gli studi, le ricerche, i risultati dell'ultimo decennio, ed individuando i possibili sviluppi futuri;

— Leonardo Chiariglione (CSELT - Torino) che ha evidenziato il ruolo centrale ormai assunto dall'informazione multimediale, finalmente resa possibile dall'applicazione concreta di diverse tecnologie basate appunto sulla rappresentazione delle sorgenti informative quali l'audio, il video, le immagini fotografiche, le immagine bilivello, l'informazione grafica e testuale e sulla numerizzazione di canali di trasferimento dell'informazione;

— Marcello Dellepiane (SMPTE - Milano) che, nella sua qualità di Segretario Tesoriere della Sezione italiana dell'SMPTE, ne ha illustrato dettagliatamente l'attività.

Le sessioni i cui argomenti sono stati particolarmente interessanti sono le seguenti:

Verso il digitale seriale

con introduzione del moderatore Eugenio Pettazzi (Videotime-Milano) ed interventi di:

— Richard Avis (Sony Broadcast International - Gran Bretagna) che ha presentato il sistema seriale digitale SDI (Serial Digital Interface), delineandone l'evoluzione, le attuali possibilità di misure e test ed i più probabili futuri sviluppi;

— Strath Goodship (Leitch Video International - Canada) che, parlando della conversione di formato, ha evidenziato la problematica relativa alla gestione di due formati di immagine differenti nella fase di produzione di programmi televisivi;

— Rex Ferbrache (Tektronix - USA) che ha illustrato il tipo di distorsioni cui può essere soggetto un segnale digitale seriale, sottolineando la peculiarità di operare su segnali numerici e la necessità di aggiornare le tecniche di misura;

— Angelo D'Alessio (BTS - Roma) che ha preso in esame le attuali e future esigenze di controllo qualità nei settori chiave delle tecnologie digitali; in particolare il dimensionare le misure strumentali di una distorsione, soprattutto quando un segnale è codificato secondo criteri di riduzione della ridondanza, è particolarmente complesso perché è il risultato del rapporto tra l'algoritmo di codifica e di canale e l'effetto psicofisico;

— Bernard Tichit (Thomson Broadcast - Francia) che, ripercorrendo le varie fasi storiche dell'interfaccia digitale seriale dal 1985 ad oggi, ha indicato come gli impianti e la componentistica tradizionale possano essere utilizzati anche nell'attuale fase di evoluzione verso l'EDTV e l'HDTV.

Audio per la televisione ed il broadcasting

con introduzione del moderatore Giuseppe Porro dell'Audio Equipment - Milano, e interventi di:

— Marco Pellegrinato (Videotime - Milano) che ha parlato degli interscambi tra apparati audio digitali e delle applicazioni in campi diversi tra loro, come le discografia o la televisione multi canale;

— Jeff Bloom (Digital Audio Research Ltd - Chessington, Gran Bretagna) che ha illustrato il ruolo del Workstation Audio nella post-produzione audio per il video;

— Giorgio Dimino (Centro Ricerche RAI - Torino) che ha argomentato sull'importanza dell'audio multi canale, nei sistemi Enhanced Definition Television, per ricreare l'ambiente sonoro delle scene visualizzate sullo schermo;

— Berthold Burkhardtsmaier (Dialog4 - Ludwisburg, Germania) che ha parlato delle tecniche di codifica audio, in particolare, della riduzione del bit-rate nelle applicazioni broadcast;

— Bernardino De Rito (SIP - Roma) che ha illustrato l'impiego delle reti ISDN (Integrated Services Digital Network) nelle interconnessioni audio ad elevata qualità.

Possibili formati della registrazione digitale

con introduzione del moderatore Maurizio Ardito del Centro Ricerche RAI - Torino e interventi di:

— Leonardo Bartelletti (BLT - Lido di Camaiore) che ha parlato della teoria delle tecniche di riduzione delle ridondanze del segnale video e di una particolare applicazione tramite videodisco, con registrazione a bit-rate variabile;

— Stefano Battista (CSELT - Torino) che ha illustrato lo stato dell'arte dello standard MPEG e le possibili applicazioni;

— John G.S. Ive (Sony Broadcast International - Gran Bretagna) che ha introdotto il nuovo sistema di videoregistrazione digitale «Digital Betacam»;

— Martin Salter (AMPEX - USA) che ha illustrato i criteri ed i requisiti di progettazione di un videoregistratore digitale;

— Steve J. Owen (Panasonic Broadcast Europe - Gran Bretagna) che ha descritto il formato D5 di videoregistrazione su componenti digitali trasparenti.

Riportiamo di seguito la sintesi dei vari interventi.

VERSO IL DIGITALE SERIALE

Metodi e strumentazione per l'analisi qualitativa dei segnali video ed audio in relazione al mondo applicativo odierno
Angelo D'Alessio

La relazione prende in esame le attuali e future esigenze di controllo qualità nei settori chiave delle applicazioni delle tecnologie digitali, distribuzione digitale ed HDTV sia del mondo «utilizzatori» che del mondo «manutenzione».

Esperienze di utilizzazione del sistema S.D.I.
Bernard Tichit

Nel corso degli ultimi dieci anni, la tecnologia della televisione si è continuamente evoluta verso i livelli di qualità, flessibilità e prestazioni superiori.

Le tendenze predominanti sono l'evoluzione dal composito al componente, l'evoluzione dall'analogico al digitale e infine l'evoluzione dalla televisione standard alla televisione potenziata e ad alta definizione. L'era del digitale è cominciata quasi 10 anni fa con lo standard 4:2:2! ma l'Interfaccia Parallelo Digitale inizialmente è stato utilizzato poco per le «Isole Digitali» di post-produzione a causa della complessità e dei costi dell'instradamento e della distribuzione.

La rivoluzione è partita con l'Interfaccia Digitale Seriale studiato dalla THOMSON che ha sviluppato il primo STUDIO Digitale Seriale funzionante a Rennes nel 1985. Da questo primo standard, l'Interfaccia Digitale Seriale è stato perfezionato a 10 bit e si è guadagnato grande popolarità in tutto il mondo, adesso viene impiegato in tutti i settori dalla produzione alla post-produzione e ora è disponibile un'ampia gamma di attrezzature prodotte da un vasto numero di costruttori.

Il presente intervento comprende aspetti della progettazione di studi digitali e presenta esempi pratici di studi e O.B. Van.

Questi esempi vengono discussi e confrontati con studi analogici di componenti e compositi, tenendo conto di 4 fattori principali: il tempo, i costi, le attrezzature e le prestazioni.

In conclusione, il presente articolo tratta l'evoluzione verso l'EDTV e HDTV e l'aspetto della compatibilità.

AUDIO PER LA TELEVISIONE ED IL BROADCASTING

Formati di interscambio tra formati digitali audio
Marco Pellegrinato

Sebbene i registratori digitali possano essere connessi al mondo analogico utilizzando opportuni convertitori, molti dei vantaggi presenti nel dominio digitale vengono persi se il trasferimento audio tra macchine digitali viene fatto tramite segnali analogici. L'importanza dell'interconnessione digitale diretta fu subito compresa e sviluppata da vari costruttori, da principio attraverso metodi proprietari spesso incompatibili fra loro, in seguito attraverso processi che portarono ad una successiva standardizzazione di fatto, finché fu raggiunta da una Commissione congiunta AES e EBU la ratifica del Draft finale sotto forma di «*Digital Audio interface* AES/EBU». Ma un'unica interfaccia standard non poteva soddisfare le esigenze di diverse tipologie di applicazioni e di utilizzo dei formati digitali, e neppure essere così universale da assorbire interamente tutta la letteratura precedente fatta di formati tutt'ora utilizzati ma incompatibili tra di loro.

Inoltre, considerazioni basate su utilizzazioni Professionali e/o Consumer degli interscambi tra apparati Digitali, applicazioni in campi diversi tra loro come la Discografia o la Televisione multicanale, e le relative deduzioni in merito ai costi dei prodotti e alle features delle interfacce, aprono orizzonti diversi e spesso difficilmente interagenti che si sovrappongono nel delineare approcci tecnologici eterogenei nel disegnare protocolli di interscambio diversi. Vedremo in questa carrellata di possibilità quali siano le differenze sostanziali tra le diverse interfacce disponibili, valutando i pro ed i contro per ciascuna applicazione.

Il ruolo delle workstation audio nella post-produzione audio per il video
Jeff Bloom

Anche se le workstations audio digitali (DAW) sono disponibili da meno di dieci anni si stanno già rivelando un importante e utile progresso tecnologico rispetto alle tecniche tradizionali (registratori o pellicole a piste multiple). Una DAW opportunamente progettata dovrebbe soddisfare i seguenti criteri:

essere più veloce e flessibile delle tecniche precedenti; integrarsi senza difficoltà nell'industria (essere facile da imparare e da usare); offrire notevoli miglioramenti di qualità; essere in grado di fare ciò che prima era «impossibile»; far risparmiare soldi.

Questo discorso si concentrerà sul modo in cui vengono soddisfatti i suddetti criteri descrivendo le moderne DAW negli ambienti post-produzione e spiegherà come questi dispositivi sostituiscono la tradizionale attrezzatura composta da diversi pezzi. Per prima cosa saranno tratti alcuni esempi sul risparmio di tempo permesso dalle DAW. Normalmente, nella DAW vengono trasferite registrazioni da fonti selezionate e allineate in modo da essere sincronizzate con l'immagine. Questo può essere fatto «manualmente» o automaticamente, se è stata preparata una lista di decisioni per il montaggio, mediante autoadattamento. Rispetto alle tecniche su nastro, in questo processo una DAW può offrire un ulteriore vantaggio perché l'audio aggiuntivo (prima e dopo la ripresa selezionata) può essere registrato automaticamete con la ripresa da utilizzare nel montaggio. La DAW può poi essere utilizzata per aggiungere, montare ed elaborare gli effetti sonori richiesti, i dialoghi aggiuntivi e la musica. Tutti questi tipi di suono possono essere direttamente registrati in una DAW o, nel caso di effetti sonori, potrebbero già esistere in un archivio immediatamente accessibile e suddiviso in categorie, magari su disco ottico. Questo permette di risparmiare molto tempo. Una DAW ben concepita dovrebbe anche permettere al tecnico del montaggio di eseguire le seguenti operazioni simili a quelle per il nastro: individuare e tagliare parti audio ascoltando durante il montaggio «di pulizia» con una maggiore precisione rispetto a quella del nastro; tagliare immediatamente e collegare segmenti audio; aggiungere dissolvenze incrociate, dissolvenze ed effetti: spostare e togliere parti audio immediatamente; cercare versioni alternative di montaggio senza attesa; e organizzare l'audio in modo efficiente. Le DAW più moderne possono fare anche cose che prima erano impossibili, estremamente difficili o che richiedevano molto tempo.

Le DAW più avanzate possono: stringere i tempi o espandere segmenti audio individuali; aggiungere EQ, guadagno, panoramiche e dissolvenze incrociate a singoli segmenti audio; copiare

EQ prestabiliti in un segmento; fornire output digitali a velocità variabili per registrare nella stessa DAW durante il funzionamento; sincronizzare automaticamente il dialogo sostitutivo con il dialogo originale; missare digitalmente l'audio all'interno; memorizzare e fare playback audio da dischi ottici asportabili; trasferire progetti audio con informazioni di montaggio ad un'altra DAW su dischi ottici.

Questo discorso tratterà brevemente l'esempio di due delle versioni più avanzate di questi sistemi, la DAR SoundStation Sigma e la Sabre su disco ottico. Questi sistemi saranno utilizzati per dimostrare che le workstation audio moderne sono semplici e facili da usare, soprattutto avendo superfici di controllo dedicate, ma che possono anche offrire un'incredibile potenza e velocità di processo.

Discuteremo e presenteremo anche esempi su come vengono svolte alcune delle operazioni fondamentali di montaggio e il processo digitale avanzato dai segnali quali l'EQ digitale basato su segmenti in tempo reale, il missaggio interno, la velocità variabile digitale, la riduzione dei tempi e la sincronizzazione automatica dei dialoghi utilizzando l'algoritmo WordFit.

Infine, mostreremo come si possono utilizzare i dischi ottici per rendere più veloce il flusso di lavoro permettendo ai tecnici del montaggio di preparare parti di progetti su un sistema e, in uno stile tradizionale, spostarsi ad un altro sistema per un'ulteriore post-produzione. Tuttavia, con i dischi ottici si ha l'ulteriore vantaggio di tenere le informazioni di montaggio e di processo insieme all'audio ad accesso casuale che permette di apportare modifiche in qualsiasi punto del materiale originale.

L'audio multi canale nelle applicazioni EDTV
Giorgio Dimino

I recenti sviluppi tecnologici nel campo delle telecomunicazioni hanno reso possibile il progetto di sistemi televisivi a qualità migliorata rispetto a quelli attualmente in funzione. Questi sistemi, chiamati genericamente EDTV (Enhanced Definition Television), si pongono come obiettivo di aumentare il coinvolgimento degli spettatori nello spettacolo a cui stanno assistendo rispetto alla TV convenzionale. Ciò si ottiene, nel video, migliorando la risoluzione spaziale e/o temporale dell'immagine ed allargando lo schermo (formato 16/9). L'audio può dare un contributo importante ricostruendo in modo plausibile l'ambiente della scena sullo schermo, ovvero fornendo una localizzazione precisa delle sorgenti sonore, quali rumori di ambiente o parlato e una simulazione della riverberazione del luogo in cui si svolge la scena. Questi effetti possono essere resi solo in parte da un sistema stereofonico ed al prezzo di restringere enormemente la zona di ascolto utile. È quindi conveniente utilizzare più canali, che separino le informazioni relative al fronte sonoro ed al sorround.

L'attività di studio sull'audio multi canale viene coordinata principalmente da alcuni organismi internazionali di standardizzazione. Il Radiocommunications Bureau (ex CCIR), competente per la normativa relativa ai sistemi di radiodiffusione, sta redigendo una Raccomandazione che definisce le specifiche richieste ad un sistema di codifica audio multi canale per essere adatto all'impiego nei sistemi televisivi a qualità migliorata.

Nella bozza di Raccomandazione attualmente disponibile viene individuata una configurazione di riferimento che consiste in cinque canali, dove, alla tradizionale coppia stereo, viene aggiunto un canale centrale (frontale) e due canali di surround (posteriori). Questa configurazione è chiamata formato 3/2. Il canale centrale ha il compito di stabilizzare il fronte sonoro in ambienti di dimensioni elevate, (es. locali pubblici) mentre i surround forniscono la riverberazione e gli effetti sonori fuori scena. Il sistema deve però essere in grado di riconfigurarsi dinamicamente secondo diversi formati, ad esempio 2/2 (frontali e surround), 3/1 (frontali, centrale ed un solo surround), 2/0 (stereo) ecc. allo scopo di permettere la trasmissione di programmi realizzati in un formato diverso dal 3/2. Il formato 2/2 può anche essere impiegato per inviare in simultanea due programmi stereo indipendenti, come, ad esempio, la colonna sonora di un film in due lingue diverse. La riproduzione di un numero di canali inferiore a quelli trasmessi deve poter avvenire senza aumento di complessità nei ricevitori; in particolare va garantita la compatibilità con il sistema stereo. Inoltre viene richiesta la possibilità di inserire servizi aggiuntivi quali commenti vocali in più lingue, colonna sonora senza rumori di ambiente per una buona intelligibilità dei dialoghi da parte di persone audio lese, un canale di commento per non vedenti, un canale per effetti speciali a bassa frequenza (20:100 Hz) destinati ad altoparlanti con caratteristiche appropriate e spazio per eventuali dati ausiliari associati al programma. La qualità del segnale, almeno per i cinque canali principali, deve essere prossima a quella del Compact Disc, come già definito per i sistemi stereofonici.

Sulla base di questi requisiti, il gruppo ISO MPEG (Moving Picture Expert Group) sta studiando un sistema numerico di codifica audio multi canale destinato a varie applicazioni, fra cui la radiodiffusione. Il gruppo MPEG aveva già realizzato nel 1991 un sistema di codifica stereo, conosciuto come MPEG Audio, che il Radiocommunications Bureu intende standardizzare per i sistemi radiofonici e televisivi che richiedano un audio a due canali ad alta fedeltà. Il nuovo sistema, che sarà in realtà un'estensione del precedente, sarà in grado di trasmettere il segnale multi canale mantenendo la compatibilità con i ricevitori MPEG Audio stereo. MPEG Audio, nella configurazione Layer II, è in grado di soddisfare i requisiti di qualità imposti dal BR ad un bit-rate di 256 kbit/s per programma, ovvero con un fattore di compressione 6. La versione multi canale, per motivi di compatibilità, dovrà lavorare con un fattore di compressione 10, sfruttando la correlazione tra i canali. Infatti il bit-rate massimo previsto dal Layer II è di 384 kbit/s, che nel caso multi canale deve essere condiviso tra cinque canali, a 16 bit di risoluzione e 48 kHz di frequenza di campionamento. La compatibilità viene ottenuta inserendo nella trama del segnale stereo i tre canali aggiuntivi come dati ausiliari, grazie alla capacità del sistema di variare dinamicamente la quantità di bit allocati al segnale ed alle informazioni aggiuntive. La riduzione dell'informazione da trasmettere avviene sfruttando il fenomeno percettivo del mascheramento acustico. È noto, infatti, che l'orecchio umano è in grado di percepire solamente una parte delle frequenze che compongono un segnale complesso, mentre le rimanenti vengono mascherate. Analizzando il segnale con un modello semplificato dell'orecchio, è possibile separare la parte di informazione percepita da quella mascherata e trasmettere quindi solo la prima. Nel sistema multi canale, per aumentare ulteriormente il fattore di compressione, viene ridotta la ridondanza dovuta alla correlazione tra i canali, applicando un predittore in grado di generare una versione approssimata del contenuto di un canale basandosi sul segnale presente nei canali adiacenti. Viene quindi trasmesso, per quel canale, solo l'errore residuo tra il segnale originale e quello predetto.

Il gruppo MPEG dovrebbe ultimare le specifiche del sistema entro il 1994, dopodiché toccherà al Radiocommunications Bureau verificare se il sistema sarà conforme o meno ai requisiti richiesti.

Digital audio broadcasting-tecniche di codifica
Berthold Burkhardtsmaier

Il 23 novembre 1991, a Kurihama/Giappone, l'ISO/IEC ha definito standard lo schema di bit-rate reduction del Motion Picture Expert Audio Group «MPEG-AUDIO» per la riduzione di dati di segnali audio digitali. Questo «Schema Standard ISO 11172-3» è il risultato di 3 anni di lavoro di esperti avviato nel 1988. L'obiettivo era di individuare lo schema di codificazione ottimale, risp. di sviluppare il principio di codificazione ottimale, tra 14 raccomandazioni diverse provenienti da: Europa, Stati Uniti e Giappone.

Fin dal 1985, l'IRT si era dedicata alla bit-rate reduction chiamata «MASCAM». L'ottimizzazione ha avuto luogo nell'ambito del progetto EUREKA 147 DAB insieme ai due partner CCETT (Francia) e PHILIPS (Olanda). A partire da questa collaborazione, la riduzione di dati è stata chiamata MUSICAM ed è stata introdotta nell'estate nel 1989 come Raccomandazione ISO/IEC/MPEG/AUDIO.

Dal 1991, la codificazione audio sta prendendo velocemente piede nel mondo dei professionisti e dei consumatori. La compressione dei dati viene utilizzata sempre più frequentemente per la trasmissione digitale mediante ISDN, per i collegamenti di distribuzione e contribuzione. Nel mondo dei consumatori sono stati introdotti i DCC e i Mini Disc. Le tecniche digitali nelle applicazioni broadcast e negli studi sono oramai scontate e certamente non potranno più essere fermate. Tutti i servizi che trattano l'audio digitale, ad esempio la radio digitale, la televisione digitale, i multi media, i PC ecc. sono pesantemente coinvolti nell'impiego di tecniche di codificazione audio.

Quest'intervento descrive lo sviluppo del MUSICAM quale standard per DAB e offre una panoramica sulle possibilità e limitazioni delle tecniche di codificazione audio nel mondo professionale. Un'enfasi particolare viene data all'applicazione DAB, soprattutto all'insieme DAB.

L'impiego delle reti ISDN nelle interconnessioni audio ad elevata qualità
Bernardino De Rito

Fino a qualche tempo fa era difficilmente pronosticabile che si riuscisse a realizzare un connubio tra l'altra qualità dell'audio e la rete telefonica a causa delle caratteristiche offerte da quest'ultima. Due fattori intervenuti negli ultimi anni hanno cambiato completamente lo scenario di riferimento. Infatti, mentre da un lato è stato realizzato in tutti i maggiori Paesi industrializzati il potenziamento ed il rinnovamento della rete telefonica mediante l'introduzione di tecniche numeriche, dall'altro lato l'evoluzione nelle tecniche di codifica, consente oggi di ridurre il bit rate necessario per ottenere la riproduzione dell'audio con una qualità comparabile a quello del CD.

Prendendo in esame il primo aspetto di questo cambiamento è da sottolineare che su questo processo di numerizzazione si inserisce lo sviluppo della ISDN (Integrated Servies Digital Network) che nasce come evoluzione della rete telefonica numerica.

La peculiarità di ISDN è quella di fornire, tramite il normale doppino telefonico, la «connettività numerica commutata da utente ad utente» attraverso un unico punto di accesso standard, consentendo perciò l'offerta di servizi vocali con prestazioni avanzate e di un'ampia gamma di servizi non vocali (dati, testi, immagini), in modo integrato, più efficiente ed economico rispetto alle soluzioni finora disponibili. L'offerta ISDN si fonda essenzialmente su due tipologie di collegamento: l'Accesso Base, che consente la possibilità di attivare contemporaneamente 30 connessioni a 64 kbit/s, e l'accesso Primario, che permette di attivare contemporaneamente 30 connessioni a 64 kbit/s. Il servizio ISDN, denominato in questa fase Servizio Pilota, è attualmente offerto nelle reti urbane delle seguenti città: Bari, Bologna, Bergamo, Bolzano, Brescia, Genova, Milano, Modena, Napoli, Palermo, Pisa, Roma, Torino, Trento, Venezia. Attualmente sono disponibili connessioni con Belgio, Francia, Germania, Gran Bretagna (BT), Norvegia, Olanda, Svezia, Giappone, Singapore ed USA (AT&T).

La realizzazione del servizio pilota ISDN in Italia si colloca nel contesto di analoghe realizzazioni in corso nei principali Paesi esteri al fine di ottenere una progressiva diffusione del Servizio su scala nazionale. Nell'Aprile 1989 SIP, ITALCABLE ed IRITEL (ex ASST) hanno aderito, assieme agli operatori di altri 19 Paesi, ad un accordo che ha sancito un impiego formale tra i Gestori volto alla realizzazione ed all'interconnessione delle reti ISDN in ambito Europeo sulla base di uno standard comune entro il 1993.

A partire dai primi mesi del '94 sarà avviato il Servizio ISDN a Larga Scala pienamente aderente alle specifiche ETSI (European Telecommunication Standards Institute); entro il '94 si prevede di servire tutte le reti urbane dei capoluoghi di provincia ed entro il '95 il servizio sarà disponibile su tutto il territorio nazionale. La connessione alla rete è possibile sia tramite terminali realizzati «ad hoc» per l'ISDN basati su standard internazionali (interfaccia S), che mediante l'adattamento dei più diffusi terminali esistenti.

L'offerta SIP consiste nella fornitura di telefoni numerici, terminali con videotelefonia, fax di gruppo 4, PABX con interfaccia ISDN nonché adattatori per terminali con interfaccia V.24, V.35, X.21 ed X.25.

Sono inoltre disponibili sul mercato schede di comunicazione per PC o per HOST in grado di realizzare l'adattamento all'interfaccia standard ISDN.

Le principali caratteristiche della rete ISDN sono: elevata qualità di trasmissione in quanto la rete è completamente numerica; consente, quindi, una migliore qualità dell'ascolto e tassi di errore molto bassi nel campo della trasmissione dati; flessibilità, consente infatti la possibilità di connettere fino ad 8 terminali sullo stesso accesso e di effettuare due comunicazioni contemporaneamente; velocità a 64 kbit/s consente ad esempio la trasmissione di una pagina in circa 4 secondi utilizzando un fax di gruppo 4.

La disponibilità di terminali ISDN innovativi da un lato e le caratteristiche peculiari dell'ISDN fanno sì che essa si presti a supportare un'ampia varietà di informazioni eterogenee.

Di seguito si fornisce una panoramica, ovviamente non esaustiva, delle applicazioni che possono trarre sicuro vantaggio dal-l'utilizzo dell'ISDN: trasferimento file (PC-PC, Host-Host); consultazione e trasmissione documenti; facsimile di gr. 4; trasmissione di immagini fisse; teleassistenza; interconnessione LAN; videocomunicazione con associata trasmissione immagini fisse, dati, fax, ecc.; accesso a cataloghi multimediali.

Alcune significative esperienze realizzate anche in Italia dimostrano come l'ISDN possa essere utilizzata anche per applicazioni audio di elevata qualità: audioconferenza; utilizzo dell'audio a 7 kHz per servizi giornalistici radiofonici; audio a 15 kHz per trasmissione di concerti verso stazioni radiofoniche o tra differenti sale; accesso a distanza a juke box; utilizzo dell'audio ad elevata qualità per il doppiaggio dei film a distanza con l'ausilio della trasmissione video; riproduzione a distanza di spot pubblicitari (sede dell'agenzia e sedi periferiche).

A fronte di tali prime esperienze, tra l'altro già significative, sicuramente nel prosieguo potranno aggiungersi nuove applica-

zioni in tale campo che trarranno vantaggio anche dalla disponibilità di capacità di trasporto maggiori, mediante l'aggregazione di più canali a 64 kbit/s (ad es. 6 canali ottenendo una velocità di 384 kbit/s) e dall'evoluzione dei processi di trattamento dell'audio digitale.

POSSIBILI FORMATI DELLA REGISTRAZIONE DIGITALE

Introduzione
Maurizio Ardito

L'introduzione della videoregistrazione digitale sta mutando radicalmente lo scenario della produzione dei programmi televisivi ed avviene in un periodo di profonda trasformazione dell'intero mondo dei broadcasters.

Infatti l'attuale periodo è caratterizzato da: riduzione delle risorse economiche; necessità di disporre di molte ore di programmi (e quindi di produrli); aumento delle opzioni tecniche; richiesta di introdurre nuovi sistemi televisivi a qualità migliorata (enhanced).

La contraddizione è evidente in quanto si richiede di aumentare la quantità e la qualità dei programmi prodotti a fronte di una diminuzione delle risorse economiche disponibili.

La prima più ovvia risposta consiste nell'ottimizzazione dei processi e nella riduzione dei costi di produzione. Si tratta di ottimizzare tutta la catena e non solamente i singoli elementi e pertanto è richiesta un'analisi estremamente complessa; tuttavia l'aspetto legato alla videoregistrazione risulta notevolmente importante, anche per gli effeti che ha sul resto della catena produttiva. La scelta di un formato di registrazione ha, fra l'altro, pesanti implicazioni sull'archivio dei programmi. A parte il costo vivo dei nastri e il costo dello spazio per conservarli, le implicazioni riguardano anche la necessità di mantenere operativi apparati considerati ormai obsoleti. Per oltre vent'anni tutta la produzione televisiva si è realizzata utilizzando il sistema trasversale, in pochi anni il numero di formati di registrazione disponibili è letteralmente esploso ed altri nuovi formati sono già annunciati.

Una prima domanda riguarda la capacità del mercato di sostenere più formati di registrazioni diversi per lo stesso genere di applicazione. Nel caso di risposta negativa si assisterà ad una selezione naturale che farà sopravvivere un solo formato (un po' come è successo per il mercato consumer) con conseguenze disastrose per quanti hanno investito nel formato perdente.

Con il passaggio da analogico a digitale, le tecniche di valutazione dei videoregistratori, messe faticosamente a punto dopo decenni di esperienza, risultano completamente inutilizzabili. Ha perso addirittura significato la misura delle distorsioni del segnale di uscita: infatti, nel caso di registratori digitali senza riduzione di ridondanza, le caratteristiche del segnale registrato sono identiche a quelle del segnale di ingresso. Il fatto che il segnale di uscita sia identico a quello di ingresso tuttavia non significa che il problema della videoregistrazione sia stato risolto e che pertanto tutti i videoregistratori siano equivalenti. Significa paradossalmente che la scelta tra i vari modelli sul mercato è molto più difficile. Nel caso di registratori con riduzione di ridondanza, la situazione è ancora più complessa in quanto non esistono a tutt'oggi criteri oggettivi per misurare le eventuali distorsioni introdotte dal sistema di codifica; esse sono infatti legate alla statistica dell'immagine, che è difficilmente rappresentabile con segnali di prova. I compromessi e le scelte che i costruttori hanno utilizzato nella progettazione dei videoregistratori hanno implicazioni enormi sulle prestazioni e nelle operazioni di tutti i giorni. Il consumo di nastro, la quantità e la qualità degli interventi di manutenzione meccanica necessari per mantenere adeguate le prestazioni durante la vita del videoregistratore, il consumo delle testine, l'interchange tra macchina e macchina sono variabili anche più importanti della qualità video ed hanno implicazioni enormi sul costo di gestione dei videoregistratori che, come è noto, è maggiore del costo di acquisto. Purtroppo in genere le risposte a molti di questi quesiti si possono avere solo dopo anni di esercizio e quindi a scelta avvenuta. Risulta pertanto importante sviluppare tecniche che consentano di valutare queste prestazioni. In particolare, per confrontare i vari sistemi di videoregistrazione digitale, risulta fondamentale l'analisi dei codici di canale, delle strategie di protezioni utilizzate nei confronti degli errori, delle implicazioni delle scelte meccaniche e della packing density.

Queste conoscenze sono indispensabili per formulare ipotesi circa la robustezza dei formati. Accanto a questa analisi teorica di cui questo lavoro è un primissimo contributo, risulterà indispensabile anche sviluppare metodi di analisi e di verifica sperimentali. Infine sarà indispensabile valutare accuratamente i benefici dell'introduzione di riduzione di ridondanza nel caso delle lavorazioni in studio. Di certo si perde la trasparenza, che era un obiettivo finalmente raggiunto con l'introduzione dei videoregistratori digitali e che non è possibile ottenere con le tecniche analogiche. Occorre valutare da una parte l'impatto di questa perdita di trasparenza sul modello produttivo dei programmi e verificare che non si tratti semplicemente di un fattore puramente teorico; dall'altra i benefici economici e gestionali che tale scelta comporta.

In questi giorni, presso il Centro Ricerche RAI si stanno valutando per conto dell'EBU i nuovi modelli di videoregistrazione con riduzione di ridondanza proposti per la produzione di programmi televisivi che verranno descritti nel corso di questo seminario.

È prematuro trarre conclusioni, ma posso assicurarvi che le sorprese non mancano e che stiamo imparando moltissimo da questa esperienza.

Teoria ed applicazioni della tecnologia di riduzione del Bit Rate
Leonardo Bartelletti

Le tecniche digitali di riduzione del bit rate sono e saranno sempre più utilizzate per comprimere l'elevato flusso di informazione tipico del segnale televisivo convenzionale. Tali tecniche, studiate inizialmente per la distribuzione e trasmissione televisiva, consentiranno nuove prospettive anche nel campo della videoregistrazione professionale.

Per meglio presentarle in quest'ultima applicazione, dove è prevedibile che avranno un ruolo di grande importanza, si illustreranno brevemente gli algoritmi di base principalmente adottati: la Trasformata Coseno Discreta (DCT), la Codifica Entropica (VLC) e la Stima e Compensazione del Movimento.

Sarà inoltre evidenziata, per la valutazione della qualità della codifica di compressione, la scelta di particolari immagini di test e sequenze video, indispensabili alla valutazione soggettiva dei risultati. Ad oggi non esistono ancora metodi o sistemi oggettivi in grado di offrire dati attendibili, se confrontati con i soggettivi, in quanto gli algoritmi di compressione riducono la ridondanza dell'informazione video sfruttando la caratteristica psicovisiva dell'occhio umano e di conseguenza dipendono da questa.

Quanto sopra, è argomento di studio da parte dei progetti ed organismi di standardizzazione internazionali (ITU, ISO/IEC, ETSI...) particolarmente impegnati, al momento, anche su studi di sistemi gerarchici multilivello con risoluzioni e qualità che vanno dall'HDTV al VHS.

Come esempio di applicazione ideale, sia delle tecniche di compressione che delle nuove possibilità da esse offerte alla videoregistrazione, si presenta un registratore digitale a disco magnetico, anziché a nastro.

I dischi rigidi (H.D.) presentano due particolari caratteristiche, la prima: l'accesso randomico alla traccia o settore, la seconda il flusso variabile dei dati da zero alla loro massima capacità di trasferimento (VBR: Variable Bit Rate).

Queste due caratteristiche possono essere utilizzate: la prima nella importantissima applicazione dell'editing non lineare, con accesso randomico istantaneo alla singola immagine, la seconda l'impostazione a Qualità Costante in funzione del rapporto qualità/tempo di registrazione richiesto, ad esempio qualità lossless, near lossless, BETACM, SVHS, VHS...

In un registratore a disco magnetico, con sufficiente larghezza di banda (espressa in bit rate), particolare importanza assume la caratteristica di «Qualità Costante o Variabile», dipendente dalla modalità impiegata: Variabile Bit Rate (VBR) o Costante Bit Rate (CBR).

Le tecniche di bit rate costante, sono necessarie con i vettori e i Media a banda fissa, come nel Broadcasting, nei registratori a nastro o nei CD con clusso di 1,5 Mbit (vedi MPEG 1).

Il bit rate costante oltre ad essere indispensabile negli impieghi sopraccitati, ha il vantaggio nella Video Registrazione di generare un flusso e una dimensione costante per i vari Frame Video, rendendo facilmente definibile, ai fini dell'editing, la locazione di ciascuno di essi e la durata della capacità della registrazione. Come aspetto negativo restituisce un'immagine a Qualità Variabile, «non predicibile» dipendente dalla complessità (entropia) dell'immagine da codificare.

Nelle applicazioni di Video registratori a Disco con compressione per Produzione e Postproduzione Video, dove un determinato livello di qualità è di grande importanza, risulta preferibile un sistema a Qualità Costante, impostata secondo l'applicazione e non dipendente dal tipo di informazione da comprimere. La contropartita del sistema a Qualità Costante è naturalmente il flusso variabile dell'informazione codificata da registrare su disco. Nel Bit Rate Variabile la dimensione di ciascun Frame è dipendente dalla complessità della singola immagine e quindi per l'editing devono essere utilizzate particolari tecniche ed algoritmi per l'indirizzamento del singolo Frame e la gestione, molto critica per i Cut ed Insert, degli spazi interni al disco. Altra contropartita negativa della compressione a Qualità Costante (nota bene: Compressione Variabile), è data dal non poter predire, se non con ampi margini, la capacità di registrazione del disco.

Altro importante argomento riguarda le applicazioni stringenti di accesso randomico al singolo Field (20 ms), che avvantaggiano le modalità di compressione spaziali rispetto alle temporali. Queste ultime raggiungono efficienze elevate con le tecniche di predizione ed interpolazione su gruppi di immagini, rendendo lungo il tempo di decodifica della singola immagine, contro i 20 ms richiesti dall'editing randomico On-Line.

Standard MPEG-2, stato dell'arte ed applicazioni pratiche
Stefano Battista

Lo standard MPEG-2 viene unanimamente considerato come la soluzione industrialmente valida e supportata a livello di normalizzazione per la televisione numerica in quanto fornisce un sistema potente per ridurre l'elevata velocità di cifra del segnale audiovisivo numerico nella sua forma originale PCM.

La memoria illustra i contenuti tecnici dello standard nelle sue tre parti fondamentali di riduzione della ridondanza del segnale video realizzata attraverso la filosofia dei profili e dei livelli, di riduzione della ridondanza del segnale audio multicanale compatibile con la codifica MPEG-1 stereofonica e di multiplazione dei flussi audiovisivi nelle sue forme principali di multiplex di programma e di trasporto.

La memoria individua poi alcuni tra i campi in cui l'applicazione dello standard è prevista in tempi brevi.

Digital Betacam - Una tecnologia digitale all'avanguardia permette un importante passo avanti nella videoregistrazione
John G.S. Ive

I vantaggi per la qualità dell'immagine dovuti alla registrazione digitale sono stati capiti correttamente da molti anni. Tuttavia, tali vantaggi sono stati contrastati da diversi compromessi meno auspicabili come i costi e la complessità. La realizzazione pratica dei sistemi digitali è stata per questo limitata ad applicazioni specialistiche ad altissimo livello in cui i benefici sono più importanti delle limitazioni. I comunicati pubblicitari, ad esempio, devono avere un impatto visivo immediato e spesso lo ottengono presentando immagini creative inusuali che sorprendono e attirano l'attenzione del pubblico. Il desiderio di creare qualcosa di artisticamente unico ha fatto sorgere esigenze tecnologiche che possono essere soddisfatte solo con le tecniche digitali.

In queste circostanze, i precedenti difetti dei sistemi digitali non sono stati un ostacolo. Il notevole costo delle attrezzature è stato coperto con budget pubblicitari elevati, il loro elevato consumo di corrente e l'ampio volume possono essere sistemati in un impianto fisso con ulteriori spese e aria condizionata aggiuntiva. Anche gli alti costi di gestione delle complesse attrezzature possono essere recuperati quando il valore percepito del prodotto finale è determinato da una valutazione artistica e le forze competitive.

Tuttavia per le società di radiodiffusione e i produttori di programmi, il mondo degli annunci pubblicitari e dei complessi effetti digitali è solo una parte del mercato dei programmi televisivi, spesso per ventiquattr'ore tutti i giorni. Invece per molte stazioni televisive sostenute da una tassa di licenza, i comunicati pubblicitari potrebbero non essere rilevanti per tutti. Fornire un flusso continuo di programmi è molto costoso, l'accento si va spostando verso più canali e più programmi ma senza un corrispondente incremento di bilancio. Così, in quest'ambiente, l'equazione costo/beneficio viene valutata attentamente e in un modo diverso rispetto ai criteri applicati alla produzione dei comunicati pubblicitari.

In realtà, molte società di radiodiffusione, resesi conto dei benefici finali di un sistema digitale, avevano già installato infrastrutture digitali come misure provvisorie, sostituendo VTR a componenti analogici nell'ansiosa attesa dell'arrivo di un Videoregistratore Digitale (DVTR) che dimostrasse l'efficacia dei costi. Per questo i requisiti erano già stati stabiliti ed è la ragione principale per l'avanzamento tecnologico che è risultato nel Digital Betacam.

Gli obiettivi del progetto erano piuttosto semplici. Il Betacam SP è diventato il formato VTR broadcast più popolare, per questo il Digital Betacam dovrebbe offrire evidenti vantaggi a coloro che prendono in considerazione gli impianti digitali, per lavorare in armonia con Betacam SP, ampliare ulteriormente la gamma delle applicazioni e in alcuni casi diventare il successore di Betacam SP. Una ragione del successo di Betacam SP (a parte i costi limitati) è stata la vasta linea dei prodotti e quindi l'ampia gamma di applicazioni, dall'acquisizione alla trasmissione che potrebbero essere indirizzate con quel formato. Questo concetto è stato esteso al Digital Betacam e di conseguenza ci si aspet-

ta che il Betacam SP, attualmente il formato di maggior successo, sia anche l'ultimo formato per nastri analogici introdotto per le applicazioni di trasmissione sul flusso principale.

Durante la ricerca e lo sviluppo che hanno condotto alla creazione del Digital Betacam, si sono presentate numerose sfide molte delle quali hanno richiesto soluzioni «all'avanguardia». Per raggiungere gli obiettivi del progetto, per parametri di base quali le dimensioni, il peso e il consumo di corrente non è stato possibile raggiungere compromessi. Per soddisfare questi requisiti, è stato accelerato lo sviluppo di circuiti integrati ad alta densità, il risultato è stato una delle prime applicazioni di 650.000 gate arrays.

I circuiti integrati ad alta densità da soli non erano sufficienti. Grandi quantità di dati video a velocità del clock elevata contribuiscono a determinare consumi di corrente inaccettabili, una maggiore quantità di componenti del circuito elettrico e complessità meccanica più un eccessivo consumo dei nastri. Il consumo dei nastri può essere ridotto con nastri a maggiore densità di impaccamento areale o nastri più sottili ma questi successivamente costituiranno l'affidabilità del formato in termini di montaggio, accuratezza meccanica e scambio dei nastri. Come minimo aumenterà l'inconveniente e i costi dell'assistenza continua. Così, è con questo background che tempestivi sviluppi nella bit rate reduction hanno dato un notevole contributo per il successo del conseguimento del formato Digital Betacam. Mentre i matematici hanno dimostrato che tutto il materiale dei programmi convenzionali contiene una grande quantità di dati superflui, la tecnologia di processo che non compromette le dimensioni, i costi, i limiti del consumo di energia non ha potuto essere realizzata, finora! Riducendo i dati di un modesto rapporto corrispondente a metà della velocità di origine, la qualità dell'immagine viene conservata e molti componenti elettronici ed elettromeccanici importanti del DVTR vengono abbondantemente semplificati, permettendo vantaggi sia dal punto di vista dei costi che dell'affidabilità.

In termini pratici, questi sviluppi risultano in un videoregistratore digitale che può offrire una qualità immediata e vantaggi dal punto di vista dei costi quando si sostituiscono registratori con un formato di trasmissione di un pollice, anche in un ambiente composito. Dove per la qualità dell'immagine è fondamentale avere il meglio o la multi-generazione è un vantaggio, gli impianti Betacam SP possono essere migliorati quasi senza disturbi e fornire l'ulteriore vantaggio della compatibilità di formato con nastri registrati in precedenza. Infine, l'efficienza di lavorare in un formato dall'acquisizione alla trasmissione è assicurata con l'attuale disponibilità dei Digital Betacam Library Management Systems (con compatibilità Betacam SP) e, in un futuro molto vicino, un Digital Betacam Camcorder.

Requisiti di progettazione per un DVTR - La prospettiva di un costruttore
Martin Salter

La realizzazione di un Videoregistratre Digitale funzionale (DVTR) è un esercizio dettagliato che deve cogliere le esigenze di coloro che lo utilizzeranno e capire le tecnologie disponibili per il costruttore con un'attenta considerazione della loro adattabilità e maturità. L'intervento esamina lo stretto rapporto che esiste tra la realizzazione elettronica e meccanica di un registratore digitale a componenti e come queste siano in relazione reciproca per stabilire i parametri del formato di registrazione. Le considerazioni comprendono il concetto di ottimizzazione del formato e del disegno meccanico per ottenere una resistenza e affidabilità «da montare e dimenticare». Vengono valutati i parametri necessari per il conseguito di quest'obiettivo, da cui si vedrà quanto strettamente le aspettative degli utenti determinano i dettagli del segnale registrato e la strategia della codifica del segnale. Questo, a sua volta, determina l'esigenza di uno schema per la correzione degli errori e di misure che li nascondano. L'intervento stabilisce chiaramente che i requisiti per la memorizzazione di dati di un DVTR sono molto diversi rispetto a quelli di altre attrezzature di processo dei segnali. L'obiettivo primario è la memorizzazione ultraffidabile di dati video. Non dovrebbero mai esserci modifiche dei dati durante la memorizzazione e per raggiungere quest'obiettivo è essenziale provvedere ad una registrazione di codifica e protezione dei dati affidabili.

D5: formato e applicazioni
Steve J. Owen

Il formato D5 VTR è un nuovo sistema in grado di effettuare registrazioni su componenti digitali trasparenti. Tuttavia, il formato D5 non è solo, fa parte di una strategia per la registrazione concepita per soddisfare le esigenze degli utenti, sia adesso che in futuro. Le basi della strategia sono: la registrazione digitale sostituirà ben presto quella analogica; la tendenza è rivolta ad una registrazione su componenti, ma il composito resterà per molti anni.

Il formato D3 soddisfa tutti i requisiti di un registratore composito digitale e, adesso, nella tecnologia D5 e D3 è stato applicato alla registrazione su componenti. La tecnologia di registrazione utilizzata sul D3 è all'avanguardia, il formato ha introdotto molte tecniche nuove compreso il montaggio a banda di protezione su registrazione azimut, il montaggio a settori adiacenti e il missaggio di campi. Queste tecniche nuove hanno contribuito all'affidabile registrazione ad alta densità ottenuta con D3. Il formato D5 si basa sulla collaudata tecnologia di registrazione D3. Importanti parametri di formato quali il passo di traccia e la lunghezza d'onda minima registrata, sono identici in entrambi i formati.

Il formato D5 è in grado di effettuare registrazioni trasparenti e replay di CCIR 601 10 bit digital video. Inoltre è supportato un modo «601 esteso» con campionamento a 18 MHz. Offerta cassette di tre dimensioni fino a 2 ore di registrazione continua con quattro canali di 48 kHz 20 bit digital audio.

Il formato D5 è stato adattato bene alla post-produzione in quanto non utilizza la compressione di dati, garantendo una qualità di immagine multigenerazione indipendentemente dal materiale o dal processo utilizzati. I sistemi convenzionali 601 possono essere utilizzati sia per immagini con rapporto di aspetto 4:3 che 16:9 a condizione che tutti gli artefatti di immagine siano più visibili sulle immagini 16:9 più ampie. Il 601 ampliato offre nel 16:9 la stessa risoluzione che il 601 basato su 13.5 MHz offre nel mondo 4:3. Le immagini 601 ampliate offrono una migliore qualità di banda base 16:9 e sono ideali per l'upconversion HDTV.

Molte registrazioni composite su nastri da 2" e 1" devono essere conservate. L'ideale sarebbe che queste registrazioni venissero conservate in composito ma poi l'accesso nei futuri ambienti dei componenti diventa difficile. L'analogia tecnica tra D3 e D5 offre un'elegante soluzione: il D5 VTR può trasmettere i nastri D3. Le registrazioni in archivio possono essere conservate su D3 e trasmesse, in componente, su D5 VTR.

La capacità di completa registrazione bit del D5 permette la bitrate reduction da utilizzare in futuro per realizzare la registrazione HDTV sullo stesso hardware. Un adattatore esterno di compressione interfacciato con il D5 VTR per mezzo dell'interfaccia seriale (esistente) da 360Mb permetterà un'introduzione alla registrazione HDTV che risulti efficace dal punto di vista dei costi.

Il D5 VTR continua l'approccio digitale da 1/2" alla registrazione, offrendo oggi una registrazione di alta qualità con la possibilità di adattarla alle esigenze del futuro.